

Lynn White Jr.

TECNICA E SOCIETA' NEL MEDIOEVO



I tre saggi raccolti in questo volume forniscono alcune tra le testimonianze maggiori che la storiografia moderna possa offrire della fecondità di una storia della tecnica inserita nel contesto di una riflessione storica di largo respiro. Nel primo il White esamina, sulla base di vastissimi materiali archeologici e iconografici, l'influenza che l'introduzione della staffa e della nuova tecnica del combattimento d'urto a cavallo da essa resa possibile, ebbe sulla origine delle istituzioni feudali, designate appunto a consentire il mantenimento di una classe di guerrieri in grado di procurarsi i nuovi costosi attrezzi da guerra. Segue poi l'esame delle silenziose ma radicali innovazioni agrarie che si affermarono nelle pianure dell'Europa franco-germanica tra il VI e il X secolo: l'introduzione dell'aratro pesante a versoio, l'apparizione del cavallo come animale da lavoro per l'aratura, la rotazione agraria triennale. Fatti tecnici, questi, ai quali si legano innovazioni sociali di capitale importanza come l'introduzione dell'agricoltura fondata sulla comunità di villaggio e sull'open field, e, correlativamente, un incremento della produzione agricola e zootecnica sconosciuto alle regioni dell'Europa mediterranea, e nel quale andrebbe ricercato, a giudizio dell'autore, il segreto della superiore vitalità e creatività che l'Europa a nord delle Alpi rivela dopo il Mille. È in questa nuova società che si vengono ponendo le basi di un uso più razionale delle fonti di energia e che si sviluppano innovazioni tecniche di sorprendente raffinatezza e ingegnosità: e l'ultimo dei saggi ne offre



esempi di straordinario interesse. Nell'insieme, si tratta di ricerche di capitale importanza, destinate a influenzare durevolmente la nostra visione di alcuni momenti capitali della storia del Medioevo.

Traduzione di Alessandro Barghini.

Il Saggiatore.

© Oxford University Press, London 1962
e il Saggiatore, Milano 1967.

Titolo originale: Medieval Technology and Social Change.

Prima edizione: ottobre 1967

Seconda edizione: ottobre 1970

Sommario

Prefazione.

PARTE PRIMA. STAFFA, COMBATTIMENTO D'URTO A CAVALLO, FEUDALESIMO E CAVALLERIA.

- I La teoria classica delle origini del feudalesimo ed i suoi critici.
- II L'origine e la diffusione della staffa.
- III Il combattimento d'urto a cavallo e l'atmosfera della vita feudale.

PARTE SECONDA. LA RIVOLUZIONE AGRARIA DELL'ALTO MEDIOEVO.

- I L'aratro e il sistema delle comunità di villaggio.
- II Il cavallo come animale da lavoro.
- III La rotazione triennale e i miglioramenti della nutrizione.
- IV Lo spostamento a nord del centro di gravità dell'Europa.

PARTE TERZA. RICERCHE MEDIOEVALI SULL'ENERGIA MECCANICA E SULLE MACCHINE.

- I Le fonti di energia.
- II Lo sviluppo della progettazione.
- III Il concetto di una tecnologia dell'energia.

TECNICA E SOCIETA' NEL MEDIOEVO

Alla memoria di Marc Bloch.

Non contemnenda quasi parva sine quibus magna constare non possunt.

San Girolamo.

Prefazione

La storia, al contrario di quel che dice Voltaire, è una serie di scherzi che i morti hanno giocato agli storici. Una delle nostre maggiori illusioni è la convinzione che i documenti scritti sopravvissuti ci possano fornire un quadro abbastanza fedele e preciso dell'attività umana del passato. «Preistoria» è definito il periodo per il quale tali documenti non sono disponibili. Ma fino a tempi molto recenti la maggior parte dell'umanità è vissuta in una «sottostoria» che è una continuazione della preistoria. Né questa era solo la condizione degli strati inferiori della società. Ad esempio nell'Europa medioevale, fino alla fine dell'XI secolo, le notizie sull'aristocrazia feudale ci provengono in gran parte da opere di chierici, le quali riflettono naturalmente una mentalità ecclesiastica: i cavalieri non ci parlano dunque essi stessi. Solo più tardi i mercanti, gli artigiani ed i tecnici cominciano a far parte a noi dei loro pensieri. Il contadino poi fu l'ultimo a farci sentire la sua voce.

Gli storici, se intendono scrivere la vera storia dell'umanità, e non semplicemente la storia quale è stata vista da quelle esigue minoranze specializzate che avevano l'abitudine di imbrattar carte, devono guardare con occhio nuovo ai documenti, porre loro nuove domande, ed usare tutte le risorse dell'archeologia, dell'iconografia e dell'etimologia per trovare risposte anche quando gli scritti dell'epoca tacciono.

Dal momento che, fino ai secoli più recenti, la tecnologia è stata un'attività di gruppi che scrivevano poco, la funzione avuta dallo sviluppo tecnologico nella storia umana è stata trascurata. Questo libro ha quindi un triplice scopo. In primo luogo presenta tre studi sulla tecnologia e lo sviluppo sociale nel Medioevo europeo: uno sull'origine dell'aristocrazia secolare; uno sul dinamismo delle campagne nell'alto Medioevo, ed uno, infine, sul contesto tecnologico degli albori del capitalismo. In secondo luogo mostra il tipo di fonti ed i mezzi che devono essere usati da chi voglia esplorare quelle zone del passato per

le quali non esistono documenti scritti, zone che comprendono ben più che la storia della tecnologia. In terzo luogo dimostra che, molto prima di Vasco da Gama, le culture dell'emisfero orientale erano ben più osmotiche di quanto la maggior parte di noi non credesse; sicché, per rintracciare fonti e propaggini di taluni progressi dell'Europa medioevale, si deve cercare a Benin, in Etiopia, a Timor, in Giappone e nell'Altai.

Poiché negli ultimi tempi molti hanno cominciato ad interessarsi dei rapporti fra la tecnologia ed i mutamenti nelle forme sociali, ho cercato di mantenere il testo del volume gradevolmente breve e scorrevole, sperando che così esso possa giovare anche ai non specialisti. Di conseguenza le note non sono soltanto una documentazione, ma spesso un contrappunto, il quale ora sviluppa quegli argomenti specialistici che avrebbero rallentato il ritmo del testo, ed ora esplora vie collaterali in regioni mal note che meriterebbero d'essere studiate monograficamente. Spero ardentemente che i lettori possano essere spinti a correggere gli errori e stimolati ad ampliare i temi inadeguatamente trattati, e che vogliano consentire a dividere con me la loro dottrina.

Longum erat tentare di ringraziare tutti per la gentile assistenza fornitami da tanti studiosi e biblioteche. Spesso la citazione fuggevole di un libro o una considerazione casuale mi hanno messo su di una nuova pista. Una volta, ad esempio, davanti a un piatto di maiale all'agrodolce in un ristorante cinese vicino alla Columbia University, l'antropologo Ralph Linton mi parlò di una sua teoria secondo la quale l'introduzione dei fagioli nell'Arizona e nel Nuovo Messico avrebbe fornito la base alimentare per lo sviluppo della cultura dei Cliff Dwellers («abitatori di dirupi»). È stato solo molto tempo dopo la sua dolorosa scomparsa che compresi come un aumento della disponibilità di proteine poteva aver avuto qualche cosa a che fare con la grande vitalità dell'Europa della fine del X secolo. Il mio debito maggiore è però verso quegli studiosi dai quali ho tratto profitto solo attraverso i loro scritti, sopra tutti gli altri verso Marc Bloch, l'ingegno più originale fra i medioevalisti del nostro secolo, il quale comprese che la tecnologia medioevale e l'evoluzione della società sono un campo unitario di ricerca. Egli accolse con entusiasmo critico le ricerche pionieristiche di

Lefebvre des Noëttes sull'utilizzazione dell'energia animale, e scrisse opere, ormai divenute classiche, sulla tecnologia agraria medioevale e sulla diffusione del mulino ad acqua. È per questo che il libro è dedicato alla sua memoria.

Sono particolarmente grato alle autorità dell'Università di Virginia per avermi invitato a tenere le lezioni di storia intitolate a James W. Richard, delle quali questo libro è un'elaborazione. Ringrazio gli amministratori del Mills College, per avermi permesso una certa libertà da obblighi amministrativi per molti mesi alla fine del mio periodo di presidenza di 15 anni in quell'istituto; i reggenti dell'Università di California, per avermi concesso un congedo per ricerca all'inizio della mia nomina alla loro facoltà, e la fondazione John Simon Guggenheim per avermi dato la possibilità di accettare tale congedo.

Devo molto altresì ai musei ed alle biblioteche che mi hanno fornito le fotografie per il volume, ed a Rosalie Green, che presiede così amabilmente all'incomparabile Princeton Index of Christian Art.

Lynn White, Jr.
Department of History, University of California, Los Angeles.

Parte prima

Staffa, combattimento d'urto a cavallo, feudalesimo e cavalleria.

La storia dell'impiego del cavallo in battaglia si divide in tre periodi: quello dell'auriga, quello del cavaliere che si stringe al destriero con la pressione delle ginocchia, quello del cavaliere fornito di staffe. [Nota. Polidoro Vergilio fu il primo a notare, nel *De Inventoribus rerum*, Venezia 1499, che la staffa è post-classica. L'idea presto divenne comune: Jan van der Straet (1523-1605) pubblicò un'incisione che celebrava la staffa quale scoperta «moderna», da porre accanto alla scoperta dell'America, della bussola, della polvere da sparo, della stampa, dell'orologio meccanico, del guaiaco (ritenuto uno specifico contro la sifilide), della distillazione e della seta. Fine nota.] In battaglia il cavallo ha sempre dato al cavaliere un vantaggio sul fante, e ad ogni miglioramento nel suo impiego militare sono stati connessi mutamenti sociali e culturali di vasta portata.

Prima dell'introduzione della staffa la posizione del cavaliere era precaria e, se il morso e lo sperone potevano servirgli al controllo del cavallo, ed una semplice sella garantirgli la stabilità, egli era tuttavia ancora molto impacciato nella tecnica del combattimento, ed era essenzialmente un arciere mobile e un lanciatore di giavellotti. L'uso della spada era limitato perché «senza staffe, bastava che il vostro cavaliere, che sta menando gran fendenti, ne mandasse a vuoto uno, per ritrovarsi a terra». Quanto alla lancia, prima dell'invenzione della staffa, essa era bilanciata col braccio ed il colpo veniva vibrato utilizzando la forza della spalla e dei bicipiti. La staffa rese possibile - per quanto non lo esigesse - un metodo di attacco ben più efficace: il cavaliere poteva ora tenere la lancia in resta, stretta tra il corpo e la parte superiore del braccio, ed attaccare il nemico vibrando il colpo non più con il vigore dei muscoli, ma con il proprio peso unito a quello del destriero lanciato alla carica.

La staffa, consentendo un appoggio laterale in aggiunta a quello anteriore e posteriore offerti dal pomello e dall'arcione, saldava realmente il cavallo ed il cavaliere in una sola unità di combattimento capace di una violenza senza precedenti. La mano del guerriero non vibrava più il colpo: lo guidava solamente. [Nota. Nel XII secolo Usamah definì chiaramente la maggiore efficienza del combattimento d'urto e il nuovo rapporto uomo-cavallo: «Chi sta per colpire con la lancia dovrebbe tenerla salda quanto è possibile con la mano e sotto il braccio, stretta al suo fianco, e dovrebbe far correre il cavallo per ottenere la spinta necessaria; poiché, se egli movesse la mano mentre sostiene la lancia o stendesse il braccio con la lancia, il colpo non avrebbe effetto e non porterebbe alcun danno». Fine nota.] Così la staffa sostituiva alla forza umana l'energia animale, ed aumentava enormemente le possibilità del guerriero di recar danno al nemico. Immediatamente, senza gradi intermedi, essa rese possibile il combattimento d'urto a cavallo, una nuova e rivoluzionaria maniera di combattere.

Quale fu l'effetto dell'introduzione della staffa in Europa?

Capitolo I

La teoria classica delle origini del feudalesimo ed i suoi critici.

Lo storico delle istituzioni franche troppo spesso richiama alla mente affaticata l'immagine di Elisa sul ghiaccio [Nota del Traduttore. Elisa: Personaggio della Capanna dello zio Tom (1851-52) di Harriet Beecher Stowe, protagonista, col figlioletto Harry, di un'avventurosa fuga sul fiume Ohio ghiacciato. Fine nota.]: con le ipotesi strette al petto ed i critici che gli abbaiano alle calcagna, salta da una carta sospetta ad un capitolare ambiguo. I documenti scritti sui regni germanici sono scarsi e di difficile interpretazione: ci si sarebbe aspettato, dunque, da parte degli studiosi che indagano le origini del feudalesimo, ogni sforzo per integrarli con il materiale archeologico che, negli ultimi anni, ha cominciato a modificare profondamente le nostre idee sull'alto Medioevo. Ma ciò non è avvenuto: la vasta letteratura materiata di ingegnose controversie sulle origini del feudalesimo è stata prodotta essenzialmente da storici del diritto, e si occupa quindi quasi esclusivamente di esegesi dei testi.

La prima fase della discussione culminò nel 1887 con la pubblicazione del saggio di Heinrich Brunner *Der Keiterdienst und die Anfänge des Lehnwesens*: il Brunner codificò, sintetizzò ed ampliò i risultati dei suoi predecessori in maniera così brillante che la sua è divenuta la teoria classica dell'inizio della società feudale.

Secondo il Brunner il feudalesimo era un fatto essenzialmente militare, un tipo di organizzazione sociale destinato a produrre e mantenere la cavalleria. [Nota. In un saggio di grandissima importanza, malgrado la sua brevità, J. R. Strayer, *Feudalism in Western Europe*, in *Feudalism in History*, ed. R. Coulborn, Princeton 1956, rifiuta questa interpretazione e sostiene che «il feudalesimo dell'Europa occidentale è essenzialmente politico - è una forma di governo... Il feudalesimo non è soltanto la relazione tra il signore ed il suo uomo, né il sistema di concessioni terriere dipendenti, poiché ambedue possono esistere anche

in una società non feudale. La combinazione di dipendenza personale e concessione terriera ci conduce assai vicino al feudalesimo, ma qualcosa ancora manca. È soltanto quando i diritti di governo (non la semplice influenza politica) si aggiungono alla signoria ed ai feudi che possiamo parlare di un pieno sviluppo del feudalesimo nell'Europa occidentale. È il possesso dei diritti di governo da parte dei signori feudali e l'esecuzione della maggior parte delle funzioni di governo attraverso quei medesimi signori feudali che distingue nettamente il feudalesimo da altri tipi di organizzazione». Pur ammettendo che «il vassallaggio andava diventando comune e che qualcosa di molto simile ai feudi, tenuti da un re o da signori, apparve intorno alla metà dell'VIII secolo», tuttavia «ciò non era ancora feudalesimo: c'era ancora un'autorità pubblica»; la nascita del feudalesimo come forma di governo avvenne nel caos dinastico del cinquantennio successivo alla morte di Carlomagno. Ma il Brunner era ben più vicino al tono violento della vita feudale, e al concetto che i membri della classe feudale avevano di se stessi, quando sosteneva che il feudalesimo europeo era essenzialmente una maniera di organizzare la società in vista della guerra, con attenzione particolare alle forze locali. Nel IX secolo, quando il regno carolingio decadde, vassalli e possessori di feudi ereditarono i resti della pubblica autorità proprio perché la loro società era già stata riorganizzata su basi militari in modo siffatto che essi si trovarono in posizione tale da poter raccogliere i frammenti del potere politico. Il feudalesimo dunque era una struttura militare, che, dopo circa un secolo, aggiunse funzioni politiche a quelle militari. Nomi come feudalesimo sono dei critto-termini: essi designano non tanto modelli di istituzioni, quanto modelli di azione e di fluttuanti relazioni di potere, che furono istituzionalizzate e legalizzate coscientemente non solo dopo il fatto, ma spesso anche dopo che il fatto legalizzato si era già mutato in qualcosa di diverso. Sulla base di testimonianze dell'estremo oriente, O. Lattimore in «Past and Present», respinge del pari il concetto di feudalesimo dello Strayer, e particolarmente l'importanza insufficiente che egli attribuisce «alla maniera di combattere che precede e contribuisce a produrre il feudalesimo». Fine nota.] I primi germani, compresi i franchi, avevano combattuto, in una certa misura, a cavallo, ma, via via che l'agricoltura sostituì la pastorizia come base della loro

economia, l'uso della cavalleria venne declinando. I franchi, in particolar modo, giunsero a combattere quasi esclusivamente a piedi, e del resto la loro arma tipica, la francisca, era efficiente solo nelle mani della fanteria. Il Brunner riteneva che ancora nel 732 l'esercito di Carlo Martello che si scontrò con i saraceni presso Poitiers fosse composto essenzialmente di fanti che, secondo le parole famose dello pseudo-Isidoro Pacense «restando immobili come un muro e, strettamente uniti come un blocco di ghiaccio, trucidano gli arabi con la spada». [Nota. 732: La data era un errore. M. Baudot, *Localisation et datation de la première victoire remportée par Charles Martel contre les Musulmans*, «Mémoires et documents publiés par la Société de l'École de Chartes», dimostra che questa battaglia avvenne, non già nel 732 ma il 17 ottobre del 733, alcuni chilometri a nord-est della confluenza della Vienne con la Creuse. Fine nota.] Invece, in un resoconto della battaglia del Dyle, avvenuta nell'891, si dice che i «franchi non sono soliti combattere a piedi». Quando ebbe dunque luogo presso i franchi questo passaggio dalla fanteria alla cavalleria? Il Brunner indagò tra i documenti disponibili e concluse che gli eserciti di Carlomagno e dei suoi successori erano essenzialmente a cavallo. Nel 758 Pipino convertì il tributo dei sassoni da bovini in cavalli, e già nel 755 il campo di marzo, il tradizionale raduno dell'armata franca, veniva spostato in maggio, probabilmente perché il numero dei cavalieri era divenuto così grande che era necessario più foraggio di quanto non ne fosse disponibile in marzo. [Nota. Non vi sono prove a sostegno dell'affermazione di H. Delbruck, che il passaggio da marzo a maggio fosse irrilevante in rapporto agli sviluppi militari, dal momento che verso il 755 il campo di marzo sarebbe stato «nur ein Art Reichstag». H. von Mangoldt-Gaudlitz discute l'affermazione del Brunner sulla base del fatto che un campo di maggio si era tenuto nel 612 e che dopo il 755 si ha notizia di spedizioni iniziate in altre stagioni che nella tarda primavera. Tuttavia, quali che fossero le prime irregolarità nella data del campo di marzo, è indubitabile che la disposizione di Pipino impressionò i contemporanei come una novità: «mutaverunt Martis campum in mense Maio». Mangoldt-Gaudlitz nota l'importanza del foraggio nel tardo VIII secolo, quando nel 782 e nel 798 alcune spedizioni furono posticipate a causa del ritardo della stagione. L'opera del IX secolo, *Officia XII mensium*,

collega esplicitamente il fieno del mese di maggio con l'inizio delle spedizioni militari. Fine nota.] La riforma militare dovrebbe quindi essere avvenuta fra la battaglia di Poitiers, da lui datata al 732, ed il 755.

Il Brunner volse allora la sua attenzione alle vaste e brutali confische di terre della Chiesa effettuate da Carlo Martello. Vi sono abbondanti prove che il grande Maestro di Palazzo confiscò e distribuì queste terre agli uomini del suo seguito allo scopo di rafforzare l'esercito. Nel 743 suo figlio Carlomanno giustificò il possesso di queste terre secolarizzate «propter imminentia bella et persecutiones ceterarum gentium quae in circuitu nostro sunt... in adiutorium exercitus nostri»; per parte sua papa Zaccaria accettò questa situazione incresciosa «pro eo quod nunc tribulatio accidit Saracinorum, Saxonum vel Fresonum». La destinazione a scopi militari di una parte considerevole dei vasti possessi della Chiesa, voluta da Carlo Martello, fu quindi contemporanea allo spostamento del nerbo dell'armata franca dalla fanteria alla cavalleria.

Nessuno dei documenti rimastici connette esplicitamente questi due fatti, ma, considerando le grandi spese necessarie al mantenimento dei cavalli da guerra, il Brunner concluse che in realtà essi erano in relazione. [Nota. Il Brunner avrebbe potuto addurre un passo del Capitulare missorum probabilmente del 792 o del 786, il cui testo è molto corrotto. Carlomagno richiede un giuramento di fedeltà a molti personaggi minori: «qui honorati beneficia et ministeria tenent vel in bassalatico honorati sunt cum domini sui et caballos, arma et scuto et lancea, spata et senespasio habere possunt». E ciò sembra significare che costoro erano stati onorati con feudi affinché potessero equipaggiarsi per il servizio nella cavalleria Fine nota.] Carlo Martello aveva avuto qualche urgente necessità di aumentare subitamente la cavalleria a sua disposizione. Nell'economia agraria della Gallia dell'VIII secolo, nella quale la terra era la forma più importante di ricchezza produttiva, e nella quale il sistema fiscale era rudimentale, i guerrieri a cavallo potevano essere mantenuti in gran numero solo con dotazioni temere; i possessi della Chiesa erano disponibili allo scopo, ed egli li confiscò e li distribuì ad un corpo più numeroso di seguaci, a condizione che lo servissero a cavallo. [Nota. E. Lesne, *La Propriété ecclésiastique en France aux époques romaine et mérovingienne*, Paris

1910, stima che la Chiesa detenesse un terzo della terra coltivabile della Gallia. Fine nota.] Il mancato adempimento di quest'obbligo militare comportava la perdita della concessione tenuta sotto tale obbligo. L'antica consuetudine di giurare fedeltà ad un capo (vassallaggio) fu fusa con la concessione di un fondo (beneficio), e il risultato fu il feudalesimo. Elementi protofeudali e signorili saturavano, naturalmente, le fluide società celtiche, germaniche, tardo romane e merovinge; ma fu il bisogno di cavalleria sentito dai primi Carolingi che precipitò e cristallizzò queste anticipazioni, dando vita al feudalesimo medioevale.

Il Brunner tentò infine di scoprire quale necessità militare inducesse Carlo Martello a tali drastiche ed improvvise misure. Certamente i nemici settentrionali del regno franco non facevano largo impiego della cavalleria, e le campagne contro gli avari avvennero troppo presto o troppo tardi per aver peso in questa riforma. L'invasione musulmana sembrava invece fornire la spiegazione. Il Brunner riteneva che i musulmani fossero a cavallo; dopo che a Poitiers le loro cariche si furono infrante contro la «barriera di ghiaccio» degli scudi franchi, Carlo Martello si era trovato nell'impossibilità di profittare, con l'inseguimento, della sua vittoria per la lentezza della fanteria. Decise quindi di creare un'adeguata forza a cavallo che avrebbe dovuto essere finanziata con la confisca delle proprietà ecclesiastiche. Così, concludeva Brunner, la crisi che generò il feudalesimo, l'evento che ne spiega lo sviluppo quasi esplosivo verso la metà dell'VIII secolo, fu l'invasione araba. [Nota. Si potrebbe scrivere un capitolo di storia della storiografia su tutto quel che di ridicolo è stato scritto su quella che F. Lot, in *Histoire du moyen age*, I: *Les Destinées de l'empire en Occident de 395 à 888*, Paris 1928, chiamò la «théorie explosive de la vassalité». Probabilmente sotto l'influenza del concetto darwiniano della trasformazione biologica determinata dal graduale accrescersi di differenze minime, molti storici hanno ritenuto come assiomatico che nessun mutamento storico importante possa verificarsi improvvisamente. Perciò nei loro studi sui precorritivi del feudalesimo essi tesero a dar poco risalto alle trasformazioni anticipate. La più recente teoria biologica della mutazione dei geni offre una metafora almeno altrettanto stimolante per il pensiero storico; essa è

applicabile specialmente alla tecnologia militare, in cui un'improvvisa innovazione può rivoluzionare un'intera società. Per esempio, D. M. Brown, *The impact of firearms on japanese warfare, 1543-98*, ha mostrato che l'introduzione delle armi da fuoco, con i relativi metodi di fabbricazione, da parte dei mercanti occidentali, modificò rapidamente l'intero sistema di vita giapponese e creò le basi per la riunificazione politica del Giappone sotto il governo degli shogun Tokugawa. Fine nota.] La sintesi del Brunner è stata al centro di tutte le discussioni successive sulle origini del feudalesimo europeo, ed ha resistito molto bene ad assalti mossi da tutte le direzioni.

L'attacco principale è venuto dagli storici militari, i quali affermano che nel secondo quarto dell'VIII secolo non ha avuto luogo alcun mutamento decisivo nei metodi di combattimento. Tuttavia, come ha notato uno studioso britannico, le loro argomentazioni «sono alquanto confuse e, in un certo senso, si confutano a vicenda». Un partito afferma infatti che il passaggio dalla fanteria alla cavalleria iniziò con la disgregazione della legione romana, e fu un processo che si protrasse per secoli e sotto Carlomagno ebbe soltanto il suo compimento. [Nota. Il giudizio di C. von Schwerin, è giustificato, poiché questa letteratura prova soltanto che i Merovingi combattevano in qualche misura a cavallo, cosa che nessuno mai aveva messo in dubbio; ma non dimostra che la cavalleria fosse l'arma principale dei franchi prima della metà dell'VIII secolo. Fine nota.] La corrente opposta sostiene che le armate di Carlomagno avevano una cavalleria ben più esigua della fanteria, che era composta dalle leve degli uomini liberi franchi. [Nota. Dal momento che il Brunner non negò il permanere dell'uso della fanteria sotto Carlomagno e perfino, occasionalmente, sotto gli ultimi Carolingi, questa corrente è soprattutto una reazione alle tesi estreme del Delbruck; H. Fehr, concorda con lo Erben nel ritenere che l'armata di Carlomagno era, di fatto e di diritto, soprattutto una leva di uomini liberi, ma sottolinea che già sotto Carlomagno, poiché la cavalleria diveniva più importante, si andavano introducendo, per il servizio militare, criteri di distinzione basati sulla proprietà, i quali nel IX secolo mutarono interamente le basi dell'armata franca. K. Rübel cerca di dimostrare che la fanteria continuò ad essere decisiva, specialmente nelle guerre contro i sassoni, ma ciò non soddisfa

il Mangoldt-Gaudlitz. Fine nota.] Quest'ultimo punto di vista può essere esatto sotto il profilo numerico: i fanti in realtà non sono mai stati eliminati dagli eserciti medioevali; al contrario, mentre si sviluppava il combattimento d'urto a cavallo, essi continuavano ad essere essenziali, soprattutto come arcieri. Ma non è stata portata alcuna prova capace di invalidare la conclusione del Brunner che sotto i primi Carolingi la forza d'urto dell'esercito franco venne ad essere formata, rapidamente ed in misura sempre crescente, da cavalieri feudali. Come mostrano i regolamenti emanati ad Aquisgrana nell'807, l'esercito di Carlomagno era composto in teoria di due parti: la prima formata da titolari di benefici, ciascuno con il proprio seguito; la seconda da coloro che servivano in qualità di uomini liberi, e non per possessi ricevuti. Gli editti di Carlomagno menzionano spesso il servizio militare dovuto da tutti i liberi, la maggior parte dei quali, per motivi economici, doveva certo combattere a piedi. Ma non sappiamo fino a che punto queste leve fossero effettivamente chiamate a prestare servizio personale nell'esercito; d'altro canto ci risulta che Carlomagno faceva, del suo meglio per trarre dei cavalieri anche da questa classe di proprietari terrieri più poveri, che egli organizzava in gruppi secondo l'estensione dei loro possessi in modo che ciascun gruppo dividesse le spese per inviare un guerriero a cavallo all'assemblea. Tuttavia, dal momento che il diritto segue di solito il fatto, non ci si può aspettare che l'evoluzione dalla fanteria alla cavalleria sotto Carlo Martello si rifletta in una qualche formale rinuncia del nipote ad un diritto al servizio, che riposava su molti secoli di precedenti, e poteva essere utile all'occasione; ma, per quanto riguarda la prassi, è significativo che l'unico bando militare di Carlomagno, rivolto ad un magnate del regno che ci sia pervenuto, quello all'abate Fulrado di Vermandois e Lobbes, fra l'804 e l'811, parli in dettaglio di cavalieri, ma non dica che ci si attendesse dall'abate l'invio di fanti per la guerra.

Di gran lunga più pericolosa, per la teoria del Brunner, è la tesi, già menzionata, che l'età della cavalleria non inizi nell'VIII secolo, ma nel IV o anche prima. La battaglia di Adrianopoli (378 d. C.), nella quale la cavalleria germanica ebbe un ruolo determinante nella disfatta delle legioni romane, è stata spesso considerata la svolta decisiva nella storia militare fra l'età antica e medioevale. Secondo le parole di Sir

Charles Oman: «Il goto scoprì che la sua forte lancia ed il suo buon destriero gli avrebbero permesso di travolgere i ranghi serrati della fanteria imperiale. Egli era divenuto l'arbitro della guerra, l'antenato in linea diretta dei cavalieri medioevali, colui che inaugurò quel predominio dell'uomo a cavallo, che sarebbe durato per mille anni.» Un attento esame degli avvenimenti di Adrianopoli non conferma tale affermazione. Risulta infatti che solo una modesta parte dell'armata visigotica era composta di cavalieri; quando le forze imperiali si misero in marcia per attaccare le fortificazioni dei carri germanici, la cavalleria dei barbari era alla ricerca di foraggio, per quanto si sapesse che l'esercito romano era vicino; i romani, inoltre, schierarono la linea di battaglia senza tener conto della possibilità che la cavalleria nemica potesse ritornare per prendere parte allo scontro. Si può quindi concludere che né l'imperatore Valente né Fritigerno, il comandante dei goti, consideravano gli uomini a cavallo un elemento importante nell'esercito dei barbari. Valente schierò al centro la fanteria e la cavalleria sulle ali; l'ala destra avrebbe dovuto iniziare l'attacco, ma la fanteria, nervosa e eccitabile a causa di una marcia di otto miglia sotto il sole di agosto, aprì con impeto il combattimento, distruggendo così i piani tattici di Valente. Proprio in quel momento i cavalieri goti, richiamati da Fritigerno, apparvero senza preavviso ed attaccarono l'ala destra romana, di fianco o forse anche alle spalle, seminando lo scompiglio. Poi una parte della cavalleria germanica aggirò i romani alle spalle per attaccare l'ala sinistra imperiale: la manovra fu così ripetuta, mentre un'orda di fanti barbari usciva dal cerchio dei carri lanciando frecce e giavellotti, insieme con i cavalieri, contro il folto dei legionari. Appare chiaro perciò che la battaglia di Adrianopoli non dimostrò la superiorità della cavalleria sulla fanteria: i cavalieri goti sbaragliarono i romani già confusi dalla loro stessa indisciplina, non perché fossero più forti, ma piuttosto per aver effettuato un attacco di sorpresa, che fu quasi un'imboscata.

L'impiego della cavalleria nei primi secoli dell'era cristiana richiede un'analisi ben più accurata di quanto finora non sia stato fatto. Due fatti contemporanei aumentarono in certa misura l'efficienza del guerriero a cavallo. Il più importante fu l'adozione della sella, giunta in Occidente nel I secolo d. C. quale innovazione barbara, che sostituì

gradualmente il vecchio sistema della coperta e del cuscino. La sella, con l'arcione, per quanto non desse al cavaliere una stabilità laterale, condizione necessaria per il combattimento d'urto, gli impediva di cadere all'indietro. In secondo luogo un nuovo tipo di equino, il cavallo pesante, antenato del destriero medioevale e del cavallo da tiro, apparve in Occidente probabilmente durante il I secolo d. C. [Nota. Nella tarda antichità i cavalli continuarono a divenire più grandi e più pesanti, per culminare nel superbo cavallo da guerra della statua di Marco Aurelio, che è della fine del II secolo. Le più antiche selle occidentali, del I e del II secolo, con arcione pronunciato e pomello, solitamente appaiono sui cavalli pesanti, che sono riconoscibili per le folte barbette e per la criniera e la coda ondulate. Pausania, *Description of Greece*, ci dice che nell'antica lingua celtica *màrca* {in caratteri greci, nel testo} significa cavallo. Sembrerebbe che i germani ricevessero il cavallo pesante da battaglia da un popolo celtico, poiché nell'VIII secolo lo chiamavano *marach*. *Marca* significa «cavallo da battaglia» in varie lingue celtiche. Fine nota.] Questo animale poteva portare un soldato con armatura pesante, e poteva anche esser corazzato esso stesso.

Furono probabilmente la sella ed il cavallo pesante che stimolarono fra i popoli dell'Asia centrale i primi esperimenti di nuovi metodi di combattimento equestre. Alcuni scavi presso il lago di Aral hanno mostrato che, durante il VI secolo a. C., i massageti andavano perfezionando un tipo di cavalleria pesante, con una corazza abbastanza massiccia sia per il cavallo che per il cavaliere; quest'ultimo armato normalmente di arco, ma a volte di una lunga lancia. Dalle figurazioni sappiamo che queste lance all'atto della carica erano tenute con ambedue le mani, e forse un passo di Valerio Fiacco indica che il colpo era portato insieme dal cavaliere e dal cavallo. Anche se la lancia tenuta all'estremità del braccio non avrebbe potuto mai vibrare un colpo pari a quello di una lancia tenuta in resta sotto la spalla, tuttavia, per alcuni rispetti, la lancia a due mani rappresentava un progresso rispetto alla lancia tenuta con una mano sola. La conferma si ha in quelle figurazioni nelle quali la lancia a due mani è fornita di pennoncello: difficilmente la lancia a una sola mano avrebbe potuto trafiggere un nemico tanto profondamente da render difficile l'estrazione della punta; la lancia a due mani invece poteva a volte penetrare tanto profondamente da

impedirne l'estrazione, disarmando così, con suo grave rischio, il guerriero vincitore. Il pennoncello, come la coda di cavallo attaccata sotto la punta della lancia mongola, era un accorgimento per evitare una penetrazione troppo profonda e permettere l'estrazione.

Ma chi immagina che il *clibanarius* sarmatico sia stato il modello del cavaliere medioevale, trascura due punti essenziali anche a prescindere dalla minore forza d'urto della lancia a due mani in confronto alla lancia in resta. In primo luogo la lancia a due mani costringeva il guerriero a lasciare le redini sul collo del cavallo e guidarlo solo con la voce e la pressione delle ginocchia proprio nel momento più critico della battaglia, il che doveva essere estremamente pericoloso, specie se il cavallo era ferito. Al contrario, nella carica, il cavaliere medioevale con la lancia in resta teneva le redini con la mano sinistra, e con un morso efficiente e crudele esercitava il massimo controllo sul cavallo. [Nota. La etimologia comune di «destriero» dal fatto che con questo tipo di cavallo le redini sarebbero state tenute con la mano destra, non trova sostegno in nessuna delle testimonianze contemporanee. Fine nota.] In secondo luogo la lancia a due mani non poteva essere usata insieme allo scudo. Ciò significava che, mentre essa era estremamente efficace contro i fanti, una battaglia fra due gruppi di cavalieri entrambi armati con lance a due mani, avrebbe portato ad un suicidio generale. Per il cavaliere dell'Europa feudale lo scudo tenuto col braccio sinistro era importante quanto la lancia tenuta sotto il braccio destro; la loro unione offriva un equilibrio fra offesa e difesa, che era una esigenza fondamentale per il combattimento d'urto, e che era assente invece dalle tecniche di combattimento con lancia a due mani sperimentate nell'Asia centrale. [Nota. Un graffito del VI-VII secolo proveniente dalla valle del basso Ienissei mostra un *clibanarius*, senza staffe, con una lancia tenuta a due mani: all'asta della lancia è attaccata una corda terminante in una sbarretta di legno che passa attraverso le dita del cavaliere, per consentirgli di recuperare la lancia quando essa gli cade. Questo sistema conferma l'inadeguatezza della lancia a due mani per il combattimento d'urto. In questo graffito, qualcosa che sembra essere un piccolo scudo circolare è attaccato al petto in luogo del pettorale e non sembra pendere dal collo. Fine nota.] Ciò che avveniva nel cuore dell'Asia stimolò senza dubbio l'adozione,

sia nell'impero iranico che in quello romano d'Oriente, dei pesanti cavalieri catafratti; ma la famosa descrizione di questi guerrieri dovuta a Procopio mostra che essi erano soprattutto arcieri corazzati, armati probabilmente di spade, piccoli scudi e, a volte, di lance leggere tenute con una sola mano. D'altronde nessun critico del Brunner ha fino ad ora portato prove adeguate di un sensibile aumento di combattimenti a cavallo nei regni germanici d'Occidente prima della metà dell'VIII secolo. E, se il seguito e la guardia del corpo dei re e dei grandi capitani erano a cavallo, sembra però che anche questa élite usasse il cavallo soprattutto per avere una maggiore mobilità, e che smontasse per combattere. [Nota. Tuttavia il fatto che la lancia a due mani avesse qualche diffusione nell'Occidente è mostrato da un rilievo tardo-romano di un cavaliere ausiliario, armato appunto con una lancia di questo tipo, e privo di scudo. Inoltre Paolo Diacono, *Historia Langobardorum*, ci racconta, come di un'impresa meravigliosa, che un longobardo infilzò un cavaliere bizantino e lo sollevò dalla sella sulla punta dell'arma. Senza staffe ciò poteva farsi soltanto con una lancia a doppia impugnatura, e pur sempre con grande difficoltà. Forse una tale lancia può anche spiegare la descrizione di Cnodomaro, re degli alemanni, alla battaglia di Strasburgo del 357, data da Ammiano Marcellino: «Chnodomarius... equo spumante sublimior, erectus in iaculum formidandae vastitatis, armorumque nitore conspicuus ante alios.» E. Salin, *La Civilisation mérovingienne*, mostra un cavaliere longobardo della fine del VI secolo ed un guerriero pagano alemanno del VII secolo, ambedue con una lancia a due mani, ma senza scudo. Fine nota.] Gli oppositori del Brunner hanno dato tanto rilievo all'importanza della cavalleria nel regno visigotico che noi oggi fortunatamente disponiamo, grazie alla penna dell'eminente storico spagnolo Claudio Sanchez-Albornoz, di uno studio ben più dettagliato di quanti ne esistano sull'argomento per altri paesi della stessa epoca. Egli concluse che, mentre vi sono ampie prove sulla continuità di una tradizione militare della cavalleria in Spagna, dai tempi celtiberici in poi, non vi è però alcun fondamento per ritenere che la cavalleria sia stata l'arma più importante dell'esercito visigotico.

L'ipotesi del Brunner ha dunque resistito all'attacco degli storici militari, i quali sostenevano l'impiego della cavalleria da parte dei

franchi. Ma anche gli studiosi di storia delle istituzioni hanno tentato di confutarla, specialmente intorno al 1930, insistendo che l'unione di beneficio e vassallaggio è di gran lunga anteriore all'VIII secolo, che la consuetudine di richiedere una prestazione militare in cambio del godimento delle terre non è un'innovazione dell'VIII secolo, e che, di conseguenza, la secolarizzazione delle terre della Chiesa compiuta da Carlo Martello non ebbe un ruolo decisivo nello sviluppo del feudalesimo. Tuttavia il consenso con le tesi del Brunner ha infine raggiunto proporzioni difficilmente riscontrabili nel mondo degli studiosi. Come Carl Stephenson ha notato: «È una questione di secondaria importanza se il beneficio militare sia stato o no un'invenzione dell'VIII secolo. Ciò che in realtà interessa è piuttosto l'ampio diffondersi del possesso feudale nel periodo successivo.» Persino Sanchez-Albornoz, che nei suoi studi sulla Spagna visigotica è quasi giunto a dimostrare l'esistenza di relazioni simili a quelle feudali prima dell'età carolingia, va cauto nel definirle «protofeudali» ed insiste che il reale sviluppo di tali istituzioni avvenne nel regno franco dell'VIII secolo.

D'altra parte non ha avuto neppure gran successo il tentativo di dimostrare che la quantità di terre confiscate e distribuite ai vassalli dai primi Carolingi fosse relativamente esigua. Il Lesne ritiene sia stata rilevante: ed il Brunner è stato forse troppo cauto quando ha affermato che la secolarizzazione fu meno severa in Neustria che non in Austria, ché vassalli si trovano ovunque in gran numero nell'impero di Carlomagno. Verso il 745 sia monasteri che vescovati ricevevano un census come compenso parziale per i possessi perduti. Per riuscire a compiere la loro profonda riforma militare i primi Carolingi avevano bisogno di ampie estensioni di terre, e difatti le loro confische furono tanto drastiche da ridistribuire una parte considerevole delle ricchezze del regno.

Arriviamo così ancora una volta al problema cruciale nello studio delle origini del feudalesimo: perché mai Carlo Martello e i suoi immediati successori sfidarono la collera della Chiesa confiscando le proprietà ecclesiastiche per dotarne la cavalleria? Quale situazione militare li costrinse a non tener conto dei pericoli della censura ecclesiastica e delle ingiunzioni della morale convenzionale? Il

Brunner trovò la risposta nell'invasione saracena. Egli affermò che Carlo Martello si era accorto che, nonostante la vittoria di Poitiers, i franchi avrebbero avuto bisogno di un'adeguata cavalleria per respingere definitivamente gli eserciti musulmani a cavallo.

Ma la battaglia di Poitiers fu davvero una crisi così grave? E i musulmani erano davvero considerati dai contemporanei il pericolo più grande per il regno franco? Vien fatto di sospettare che l'attuale opinione comune sia basata, più che sui fatti, sulla retorica con la quale il Gibbon presentò all'immaginazione inorridita degli agnostici del XVIII secolo lo spettacolo di una Oxford intenta a studiare il Corano, e di un'Europa abituata alla circoncisione, se il maglio di Carlo Martello avesse colpito con minor violenza. In verità Carlo Martello volse la sua attenzione all'Islam solo dopo aver consolidato il suo regno. [Nota. È stato da lungo tempo riconosciuto che i contrasti interni della Spagna musulmana furono più importanti delle campagne di Carlo Martello nel determinare la ritirata dei saraceni al di là dei Pirenei. Fine nota.] D'altronde l'unica fonte contemporanea che collega la riforma militare con le incursioni musulmane è la lettera di papa Zaccaria già menzionata, che fa riferimento alla «tribulatio Saracinorum, Saxonum vel Fresonum»; e l'opinione dell'immediata posterità sull'importanza dei tre nemici è esemplificata dal fatto che, quando sotto Ludovico il Pio le pareti del palazzo di Ingelheim furono decorate con affreschi illustranti le gesta dei grandi condottieri, Carlo Martello non fu rappresentato a Poitiers, ma invece durante la conquista della Frisia. Certo, Carlo Martello, una volta sconfitti, i musulmani, non si curò per molti anni di dare un seguito alla sua vittoria; e già questo potrebbe dimostrare che l'invasione islamica non era un motivo sufficiente per giustificare la riorganizzazione della società franca in funzione di un rafforzamento della cavalleria.

Si aggiunga che il Brunner riteneva che la battaglia di Poitiers fosse stata combattuta nel 732: solo nel 1955 si è saputo che la data esatta è il 733. Ma la prima confisca di terre ecclesiastiche per la distribuzione ai vassalli ebbe in effetti luogo nel 732, quando Carlo Martello requisì le terre del vescovo di Orléans e di altri, così che «honores eorum quosdam propriis usibus annecteret, quosdam vero suis satellitibus cumulare». Poitiers non può quindi aver ispirato la politica

di confisca di Carlo per lo sviluppo della cavalleria. Le riforme militari erano cominciate un anno prima, sebbene non avessero ancora modificato la struttura delle forze franche quando queste si scontrarono con gli invasori musulmani.

Ed infine, Brunner era nel giusto quando riteneva che a Poitiers i saraceni spagnoli combattessero a cavallo? Certo nei primi anni del IX secolo i franchi li ricordavano come «Mauri celeres... gens equo fidens». Ma qui ancora una volta le profonde e definitive ricerche di Sanchez-Albornoz sulle fonti arabe hanno chiarito il problema. Egli ha dimostrato che anche venti anni dopo la morte di Carlo Martello i musulmani spagnoli impiegavano solo piccole unità di cavalleria, e che fu solo dalla seconda metà dell'VIII secolo che il nerbo dei loro eserciti non fu più la fanteria, ma la cavalleria. [Nota. Secondo la testimonianza molto tarda di al-Makkari (m. 1632), il primo califfo omayyade di Spagna (m. 788) era servito da un capo-palafreniere che aveva il titolo di Maestro di staffa, sahib al-rikab. Fine nota.] Non sarà avvenuto forse che i figli del profeta abbiano imitato i franchi, e non invece il contrario? Ad ogni modo oggi appare chiaro che non fu il pericolo musulmano a provocare la riforma militare di Carlo Martello ed il conseguente sviluppo del feudalesimo in Europa.

Contro questa, soltanto un'altra teoria sulla confisca e distribuzione delle terre della Chiesa è stata discussa ampiamente: quella del Roloff, il quale suggerisce che il grande major palatii - un bastardo ed usurpatore - stesse tentando di rafforzare la propria posizione politica con una munificenza che avrebbe attratto nel suo seguito la maggior parte dei magnati del regno. Ma il Mangoldt-Gaudlitz obietta irrefutabilmente che, in primo luogo, una tale drastica azione avrebbe indubbiamente creato a Carlo un seguito secolare, ma nello stesso tempo avrebbe rischiato di sollevare la pericolosa inimicizia della Chiesa, la sola autorità che avesse il potere di legittimare - come del resto fece - la sua dinastia; in secondo luogo Carlo Martello, da esperto guerriero quale era - Isidoro Pacense lo chiama «ab ineunte aetate belligerum et rei militaris expertum» - sarà stato più probabilmente mosso da considerazioni militari che politiche; in terzo luogo la situazione politica dei figli di Martello, Carlomanno e Pipino, era tanto sicura che le nuove immense confische di terre ecclesiastiche

possono essere spiegate meglio da ragioni militari. Ma se, a differenza del Mangoldt-Gaudlitz, non possiamo accettare l'ipotesi del Brunner sull'invasione musulmana, quale trasformazione o crisi militare avvenuta nel decennio 730-740 può spiegare questi importanti avvenimenti? Questa magnifica struttura ipotetica rimane intatta nel suo insieme, salvo che nella chiave di volta. Ci troviamo di fronte, durante il regno di Carlo Martello, Carlomanno e Pipino, ad un dramma straordinario privo di una motivazione. Un improvviso ed urgente bisogno di cavalleria indusse i primi Carolingi a riorganizzare il regno secondo il sistema feudale per consentire il mantenimento di guerrieri a cavallo in numero molto maggiore che in precedenza: ci sfugge tuttavia la esigenza militare che determinò questa rivoluzione sociale.

La risposta a questo enigma non va cercata tra i documenti scritti, ma nell'archeologia. Essa è stata suggerita per la prima volta nel 1923, da un esperto di antichità germaniche, alla fine di una nota a piè di pagina ricca di divagazioni: parlando della frattura sociale che si determinò quando il nuovo e costoso metodo di combattere portò al sorgere di un'aristocrazia specializzata di guerrieri a cavallo, Friedrich Kaufmann notò, quasi come un ripensamento: «La nuova età è annunciata nell'VIII secolo da ritrovamenti archeologici di staffe.» [Nota. Senza alcuna discussione o documentazione, L. Montross, attribuisce lo sviluppo del combattimento d'urto a cavallo nell'età carolingia «all'invenzione della staffa, che senza dubbio si pone come il primo contributo dell'età oscura alla scienza bellica». M. Bloch collega esplicitamente l'introduzione della staffa con il passaggio (che egli ritiene graduale), dalla fanteria alla cavalleria nell'alto Medioevo, ma la scarsa informazione sulla diffusione della staffa gli impedisce di riferire queste considerazioni tecnologiche all'VIII secolo. R. A. Preston, S. F. Wise e H. O. Werner, accettano la relazione tra le origini del feudalesimo e «l'introduzione della staffa, avvenuta durante il VI secolo, e... le incursioni dei saraceni a cavallo nella Francia meridionale al principio del secolo VIII». Fine nota.]

Capitolo II

L'origine e la diffusione della staffa.

Le congetture a priori sull'origine della staffa sono state portate all'assurdo da A. von Le Coq, il quale ha avanzato l'ipotesi che questa possa essere stata inventata o da una stirpe di cavalieri abituali (ad esempio i turcomanni), o altrimenti da un popolo di agricoltori sedentari (ad esempio i cinesi) costretti improvvisamente ad imparare a cavalcare per difendersi dalle incursioni dei nomadi. Come si vede non c'è nulla da guadagnare dai voli dell'immaginazione.

Le porte assire di bronzo, ora al British Museum, che illustrano una spedizione di Salmanasar III dell'853 a. C. mostrano il re a cavallo, con i piedi poggiati su quello che sembra essere un lungo poggipiedi pendente da una sella a cuscino. Ma è un esempio del tutto isolato, che non segna la nascita della staffa.

Certamente le staffe erano sconosciute nell'antichità non solo nel vicino Oriente, ma anche ai greci ed ai romani. La letteratura tace su di esse; le innumerevoli rappresentazioni di cavalieri dell'antichità ne sono prive, e gli oggetti presentati dagli archeologi come staffe dell'età classica sono di dubbia identificazione o di discussa provenienza. [Nota. Una rozza pietra tombale, forse della fine del III o del principio del IV secolo, proveniente da Putacevo in Jugoslavia, si è a lungo creduto che rappresentasse una staffa, ma l'oggetto è assai dubbio. Un oggetto che è stato per un certo tempo interpretato come una specie di staffa, ma che è certamente il fodero di un arco pendente dal cuscino del cavallo, appare in monete coniate, probabilmente ad Antiochia, da Q. Labieno Partico, introno al 40 a. C. L. Sprague de Camp a identificato in una manopola, che appare sulla cinghia legata al collo del cavallo di un cuscino da sella romano del tempo di Marco Aurelio, un sistema per fornire un sostegno al cavaliere. L. H. Heydenreich afferma che una statua di bronzo equestre, probabilmente del VI secolo, eretta dapprima a Ravenna e più tardi a Pavia, era fornita di staffe. Verso il 1335 essa era certamente

fornita non solo di staffe, ma anche di speroni a rotella, che del resto non sono noti prima di una miniatura spagnola del IX secolo. Le vicissitudini di questa statua rendono molto improbabile che essa originariamente possedesse un tale equipaggiamento. Nel 1315 fu predata dai milanesi, fatta in pezzi e portata a Milano: verso il 1335 fu ripresa dai pavesi e riportata nella loro città. Gli artigiani incaricati del restauro avranno dovuto risolvere il problema della solidità delle gambe e dei piedi ciondoloni del cavaliere, ed avranno rinforzato le gambe con barre di metallo mascherate come cinghie delle staffe, ed i piedi con strisce di metallo per gli speroni. E non vi sarebbe stato in questo alcun senso di anacronismo, giacché, come si è già detto, la prima affermazione che i romani non conoscessero la staffa fu pubblicata nel 1499. Fine nota.] Ancora verso la fine del IV secolo Vegezio, l'ultimo autore classico che ci abbia lasciato una descrizione dei cavalli da sella, non ci dice nulla di esse.

Una specie di staffa rudimentale apparve in India, verso la fine del II secolo a. C., come si può vedere nelle sculture di Sanchi, Pathaora, Bhaja e Mathura: un sottopancia lento nel quale venivano infilati i piedi del cavaliere, e, più tardi, una piccola staffa per il solo alluce. [Nota. È strano che la staffa ingrandita a sufficienza per accogliere il piede non compaia in India se non nel X secolo, ad Orissa, e alla fine dell'XI secolo, a Pagan. Fine nota.] Dal momento che la staffa per l'alluce non poteva essere usata da cavalieri calzati, la sua diffusione fu ostacolata dai climi più freddi del Nord. Un cammeo dei Kushan, oggi al British Museum e databile intorno al 100 d. C., mostra un cavaliere calzato con i piedi sostenuti da qualche cosa che sembra un gancio rigido pendente dalla sella. [Nota. Sono grato a Mrs. James Caldwell del Mills College e al dr. Douglas Barrett, Assistant Keeper of Oriental Antiquities del British Museum, per avermi fornito la fotografia, e al dr. John Rosenfield della Harvard University per avermi confermata la datazione del dr. Barrett. Lefebvre des Noëttes e A. L. Basham mostrano un vaso di rame, proveniente da Kulu, sui confini del Kashmir, probabilmente del I-II secolo d. C., in cui compare una cinghia pendente che sostiene i piedi del cavaliere. Il dr. Barrett mi informa tuttavia, per lettera, che non è interamente convinto dell'autenticità di questo vaso, che si trova al British Museum. Fine nota.] Poiché tali uncini potevano con facilità

impigliare il cavaliere, se egli fosse caduto, l'esperimento non si sarà forse rivelato soddisfacente, ma dimostra gli sforzi dei popoli del Pakistan settentrionale e dell'Afghanistan per adattare la staffa per l'alluce alle loro esigenze.

La staffa completa è probabilmente un'invenzione cinese. Appare in Cina in seguito alla grande ondata missionaria buddhista che si spinse, attraverso l'Afghanistan ed il Turkestan, fino al Regno di mezzo, portando con sé molti elementi della cultura indiana. Era conosciuta nel Hunan, al più tardi verso i primi decenni del V secolo, e la prima menzione della staffa nella letteratura cinese, nel 477 d. C., indica che allora era già comunemente in uso. [Nota. Il dr. C. Carrington Goodrich della Columbia University ha richiamato la mia attenzione sulla relazione archeologica di Kao Chih-hsi, la quale mostra tre immagini della tomba di Hunan fornite di staffe e datate al periodo Chin (265-420 d. C). W. C. White richiama l'attenzione sulla scoperta, fatta da C. W. Bishop nel Shensi, di una figura in pietra che rappresenta un bufalo inginocchiato, databile al 117 a. C., fornito di staffe. Prima della sua morte il dr. Bishop mi informò che la sella a cuscino e le staffe sono incisi sulla figura, mentre gli altri particolari sono in rilievo; pertanto egli considerò queste staffe un'aggiunta posteriore. Fine nota.] Ci rimangono raffigurazioni cinesi della staffa che risalgono agli anni 523, 529, 551, 554, 636 e 683 d. C.; altre, che non sono databili così esattamente, possono essere fatte risalire allo stesso periodo. Dalla Cina la staffa si diffuse poi in Corea, durante il V secolo, ed in Giappone, dove era conosciuta almeno dalla metà del VI secolo. [Nota. Le più antiche staffe rimasteci, alle quali si possa attribuire una data esatta (752 d. C.), sono conservate nel Shosoin a Nara. Fine nota.] I tentativi compiuti dal Rostovcev e dall'Arendt per attribuire le staffe agli antichi sarmati o agli sciti, sono privi di fondamento. [Nota. H. Vesselovskij assicurò verbalmente Rostovcev di aver portato alla luce staffe da tombe sarmatiche nella regione di Kuban, ma il Rostovcev non vide mai questi ritrovamenti, né essi furono mai pubblicati, malgrado il loro evidente interesse. W. W. Arendt presenta uno schizzo a penna di una sella, che egli ritiene scita, con staffe, ricostruita dalla scena del famoso vaso di Chertomlyk (che rappresenta una cinghia pendente, ma non staffe), dal materiale inedito del Museo Storico di Mosca scoperto dallo Zabelin nel

1865, e dalle «analogies avec le harnais asiatique du cheval moderne». M. Ebert giustamente nega che i nomadi dell'antichità avessero un qualche tipo di staffa. Il Bivar osserva che non vi sono staffe nei tumuli di Pazirik, approssimativamente contemporanei al vaso di Chertomlyk. Fine nota.] Tuttavia, poiché sappiamo che durante il V secolo l'idea della staffa si era diffusa dall'India verso la Cina, attraverso il Khyber Pass, lungo l'antica via della seta, possiamo supporre che alcuni popoli dell'Asia centrale abbiano allora cominciato ad usarla. Ed infatti recentemente l'archeologo russo S. V. Kiselev ha datato al VI secolo alcune staffe provenienti da tombe turche dell'Altai. [Nota. Mentre questo libro va in stampa, il dr. O. Maenchenl Helfen della University of California, Berkeley mi informa che L. R. Kizlasov annuncia la scoperta in Siberia di piccole staffe di ferro che possono difficilmente essere posteriori al III secolo d. C., alcune delle quali appaiono anzi risalire al I o al II secolo. Dal momento che altri oggetti in miniatura sono stati trovati in queste stesse culture, queste non saranno probabilmente staffe per l'alluce, le quali d'altronde sarebbero state inutili in un tale clima. Fine nota.] La datazione dei tumuli dei nomadi è però un lavoro estremamente delicato. Le fosse disposte l'una accanto all'altra, possono essere state scavate a secoli di distanza, e le testimonianze di una non possono essere usate per datare quella vicina. Inoltre, a maggior confusione degli archeologi, in periodi di crisi vecchie tombe ricevevano a volte un secondo occupante; e la tumulazione, insieme al morto, dei beni di famiglia, che potevano essere stati tesorizzati per generazioni, complica il tentativo di datazione di tutte le tombe, eccetto che per quelle ricche, databili per mezzo di monete ed oggetti d'arte. Il cauto Tepluchov, dopo dieci anni di studio delle stratificazioni culturali del bacino del Minusinsk non ha potuto, al contrario di Kiselev, trovare traccia della staffa prima del VII secolo. Le numerose staffe di Saltovo, nell'Ucraina, non sono anteriori all'VIII secolo, e quelle trovate a Laida, presso Tambov, ed a Pereslavl', sono all'incirca della stessa epoca. La più antica raffigurazione centro-asiatica della staffa, un graffito rupestre dell'Altai, non è decisiva in quanto probabilmente non è anteriore al 400 d. C., e non posteriore al 700.

La nostra opinione sulla datazione dell'uso della staffa da parte delle popolazioni di cavalieri nomadi può essere influenzata dal fatto

che l'Iran, nonostante i molti contatti con l'Asia centrale, non aveva familiarità con la staffa prima del VII secolo. Questa assenza è tanto più strana, perché nel III e IV secolo i sassanidi conquistarono e governarono estese regioni dell'attuale Afghanistan e Pakistan, dove a quel tempo esistevano probabilmente staffe ad uncino. Ma le molte e dettagliate rappresentazioni sassanidi di finimenti per cavallo non mostrano un solo paio di staffe: il famoso piatto d'argento dell'Ermitage che raffigura le staffe è ora giudicato di epoca post-sassanide, probabilmente delle regioni dell'Iran del Nord, ed è databile intorno al 700 d. C., o ad un periodo più tardo. Sfortunatamente l'avversione musulmana alla riproduzione di figure umane ed animali raggiunse l'Iran nel 641 d. C., e ci privò per molte generazioni di documenti iconografici. La filologia e la letteratura possono offrirci, tuttavia, delle testimonianze in merito. Il Pelliot ha messo in rilievo che dal momento che i persiani usano, per designare la staffa, il vocabolo arabo rikab, questa deve avere raggiunto la Persia verso la fine del VII secolo o l'inizio dell'VIII, quando la classe dominante e guerriera dell'Iran parlava arabo.

Nel IX secolo due storici del Hadith, Abu-Dawud (m. nell'888 d. C.) ed al-Tirmidhi (m. nell'883-93 d. C.) misero per iscritto una tradizione orale allora diffusa in Persia: «Ho visto 'Ali (morto il 661 d. C.) portare avanti un cavallo per cavalcare. Quando pose il piede nel rikab disse "in nome di Dio" tre volte.» Erano passati più di 200 anni di tradizione orale, e che 'Ali abbia mai usato il rikab è dubbio per il fatto che scrittori musulmani piuttosto precisi ci hanno lasciato un ricordo esatto e attendibile dell'introduzione della staffa, che risalirebbe, almeno nella sua forma metallica, a 33 anni dopo l'assassinio di 'Ali. Al-Jahiz (m. nell'868 d. C.) descrive il disprezzo del persiano Shu-ubiyah per gli arabi. Questi avrebbe detto agli arabi: «Voi eravate abituati a cavalcare in battaglia i vostri cavalli a groppa nuda, e quando un cavallo aveva una sella questa era di cuoio, ma non aveva staffe. Ma le staffe sono fra i migliori finimenti da guerra, sia per il lanciere che maneggia la lancia, che per il guerriero che brandisce la spada, perché possono alzarsi in piedi su di esse od usarle come appoggio.» Al che al-Jahiz risponde: «Per quanto riguarda le staffe si sa che sono molto antiche, ma le staffe di ferro non erano usate dagli arabi prima dei giorni degli Azrakiti.»

Il riferimento alla setta degli Azrakiti è spiegato da un passo degli scritti di un altro autore del IX secolo, al-Mubarrad (morto l'898 d. C.), che ci dice che «le staffe un tempo erano di legno, e si rompevano quindi molto facilmente, con il risultato che quando [il guerriero] voleva brandire la spada, o il lanciere vibrare la lancia, non avevano appoggi. Al-Muhallab ordinò quindi che fossero costruite in ferro, e fu così il primo ad avere staffe di ferro». [Nota. Il libro di al-Mubarrad è senza dubbio la fonte delle consimili affermazioni sull'origine della staffa fatte da Ibn el Awwam, un musulmano spagnolo del XII secolo. Nel IX secolo, come le nostre citazioni hanno mostrato, la staffa era diffusa nell'Oriente musulmano. Zschille e Forrer citano una descrizione di come il califfo al-Ma'mun (809-33 d. C.) distribuisse doni a Damasco «senza togliere il piede dalla staffa». Al-Maqdisi (fine del X secolo) nota che Samarkanda aveva un fiorente commercio di esportazione di staffe. Fine nota.] Nel 694 d. C. il generale al-Muhallab stava conducendo nella Persia centrale una campagna contro gli Azrakiti, e dalle nostre fonti sembrerebbe che avesse appreso allora dai suoi nemici l'uso delle staffe, o almeno delle staffe di ferro. [Nota. S. M. Yusuf attribuisce a al-Muhallab, e ciò è molto significativo, non solo l'introduzione della staffa di ferro, ma anche l'aver adottato l'usanza turca di mozzare la coda ai cavalli. Fine nota.] Che cosa dobbiamo pensare dell'affermazione di al-Jahhiz e di al-Mubarrad che le staffe di legno o di cuoio sono di molto anteriori a quelle di ferro? Questo punto di vista è diffuso nelle opere di storia dell'equitazione, ma è astratto e schematico ed è privo di un adeguato fondamento sia nell'archeologia che nelle raffigurazioni di finimenti da cavallo che ci sono pervenute. [Nota. Ad esempio, su questa base, un bassorilievo della chiesa di Saint-Julien a Brioude (Haute-Loire), che mostra semplici staffe a cinghia, è stato spesso citato come merovingico, ma, come A. Demmin sottolinea l'armatura del cavaliere si addice meglio al X o all'XI secolo. E. Laszlo ritiene che un tipo originario di staffa di cuoio o di corda possa spiegare la costola sotto il sostegno del piede di alcuni modelli di staffa, come pure alcune decorazioni ad intreccio ed a nodi. Tuttavia la perizia dell'artigiano e la fantasia del fabbro nel modellare il ferro incandescente rendono superflua tale interpretazione genetica. L'Oxford English Dictionary fa derivare stirrup (staffa) dall'anglosassone stig

(salire)+rap (funne), ed osserva che. «come mostra l'etimologia, la staffa (stirrup) originaria dovette essere una fune in forma di laccio». W. Meyer-Lubke è incerto, ma non sa offrire niente di meglio. La parola deriva più probabilmente da astràbe {in caratteri greci nel testo}, un basto da carico, trasformato talora in sella laterale da donna, con l'aggiunta di un'asse, su di un lato, sostenuta da cinghie, per servire come sostegno per i piedi. Una sella di questo tipo appare in un rilievo ittita del 730 a. C., che mostra una regina a cavallo. Nell'età carolingia astraba era venuta ad indicare, non l'intera sella, ma il solo sostegno per i piedi. Quando poi la vera staffa raggiunse l'Occidente, essa fu assimilata linguisticamente all'astraba, l'unico tipo di sostegno del piede per il cavaliere che fosse già familiare ai franchi. Da questa derivò lo spagnolo estribo, il provenzale estreup, l'antico francese estrieu e l'anglosassone stirap. L'anglosassone stigrap e il germanico Stegreif sono probabilmente il risultato di un'etimologia popolare. Fine nota.] Come le staile ad uncino, quelle di corda o di cuoio possono trascinare il cavaliere che venga disarcionato. Le staffe di legno costruite con le tecniche a disposizione degli antichi, se non erano sufficientemente rinforzate, non potevano essere abbastanza resistenti. È difficile pensare che popoli che lavoravano i metalli abbiano usato a lungo o su vasta scala staffe di corda, cuoio o legno senza sostituirle con altre di bronzo o di ferro, ma non è meno difficile ritenere che le staffe non metalliche non siano mai esistite per il semplice fatto che non hanno resistito fino agli scavi. I contraddittori persiani di al-Jahiz erano nel giusto su un punto essenziale: gli arabi erano giunti nell'Iran senza staffe. Possiamo concludere quindi che i musulmani ne siano venuti in possesso nel 694 d. C. in Persia, dove erano giunte di recente dal Turkestan, giacché erano sconosciute nel regno dei sassanidi.

Sia detto incidentalmente: è probabile che la prima forma indiana di sostegno per il piede del cavaliere, la cinghia (che poteva essere usata da un'aristocrazia che calzava sandali), raggiunse l'Arabia prima della staffa, e fu applicata ai cammelli con il nome di gharz. [Nota. Secondo L. Mercier, i cavalli, al contrario dei cammelli, erano molto rari in Arabia fino al VII secolo. La parola gharz appare appena nella seconda metà del VI secolo nella poesia di al-Muthaggib. J. von Hamraer-Purgstall, crede che gharz sia una staffa di cuoio, mentre rikab sarebbe

una staffa di legno o di ferro. G. Jacob, traduce gharz come «staffa da cammello», ma K. Wittfogel e Féng Chia-shèng, ritengono che gharz possa essere semplicemente il cuscino su cui il cammelliere, normalmente privo di staffe, posava un piede. Lyall tuttavia, rileva che un antico commentatore arabo dice che gharz significa «cinghia», parola con la quale par che si intenda l'antica cinghia indiana, il che potrebbe spiegare un passo come quello del poeta Labid (m. 661 d. G): «Quando nuovo [il piede nella] gharz [il cammello] comincia a correre rapidamente» Il frammento di una statua indiana del II secolo circa, è stato trovato nell'Arabia meridionale, e nel primo decennio del V secolo Fa Hsien vide un lussuoso ostello per i mercanti sabeï a Kandy a Ceylon. Fine nota.] Quando fu introdotto il rikab, o staffa completa, essa fu adoperata sia per il cammello battiano che per il dromedario, ed il gharz cadde in disuso. A giudicare dalle testimonianze moderne la seconda fase della staffa indiana, la staffa per l'alluce, si diffuse dovunque l'antica India avesse contatti con popolazioni le cui classi dirigenti andassero abitualmente a piedi nudi: ad est fino a Timor e alle Filippine, ad ovest fino all'Etiopia. Dal momento che la regione dell'alto Nilo aveva frequenti contatti, in epoca romana, con l'India, ci dobbiamo chiedere se una staffa di un tipo qualsiasi possa avere raggiunto l'Egitto dall'Etiopia.

Elementi contrari sono, in primo luogo il fatto che non si conosca nessun termine della lingua etiopica antica che designi la staffa, e che tutte le parole moderne della regione derivino dall'arabo rikab; in secondo luogo che non siano emerse tracce di staffe fra i numerosi finimenti per cavalli delle tombe reali della Bassa Nubia fra il III ed il VI secolo, in terzo luogo che nessuna rappresentazione copta della staffa possa essere datata con sicurezza prima degli avori del pulpito di Aquisgrana, che, dopo molte dispute, sono stati ora datati, con certezza, a poco prima del 750. [Nota. Affreschi sudanesi, di poco posteriori al 1000, mostrano una strana incertezza sulla maniera in cui la staffa debba attaccarsi al resto della bardatura del cavallo. C'è nel museo di Louvre un avorio simile a questi, ma alquanto più rozzo, che rappresenta staffe; Si è discusso parimenti a lungo sui pannelli di legno intagliato che mostrano cavalieri con staffe, nella chiesa di Abu Sarga di Cairo Vecchio. A. J. Butler, li datò all'VIII secolo, poiché la chiesa fu

costruita a quel tempo, ma nel suo Islamic Pottery li ascrive invece al VI secolo, senza fornire spiegazione alcuna. Per considerazioni stilistiche, tuttavia, devono essere alquanto più tardi dei cavalieri privi di staffe della mattonella di Eton, che egli attribuisce del pari al VI secolo. A. Gayet, è convinto, per quella che egli giudica una chiara influenza musulmana sui costumi, sulle bardature dei cavalli e sui dettagli ornamentali, che essi non siano anteriori all'XI secolo; J. Strzygowski, li attribuisce al XIII secolo. J. Strzygowski, mostra un rilievo gravemente danneggiato di un cavaliere che funge da architrave nella moschea di Dashlut, ma forse proveniente da Bavit, ed asserisce che quel cavaliere, come gli avori di Aquisgrana e del Louvre, è fornito di staffe. Ma queste non sono visibili nella fotografia che egli ci presenta e che riproduce altresì nella sua Koptische Kunst, né sono visibili in un'altra fotografia in J. Clédat ; e la gamba ed il piede visibili del cavaliere sono rotti così malamente che non sembrerebbe possibile alcuna identificazione convincente della staffa. Gli affreschi sopravvissuti a Bavit mostrano sette cavalieri, tutti privi di staffe. Dal momento che il monastero continuò ad essere abitato fino alla fine dell'XI secolo, una tarda scultura che mostri una staffa non è affatto impossibile: una miniatura copta del X-XI secolo mostra staffe ben evidenti. Una lettera del dr. Walter Till dell'Università di Manchester, la maggiore autorità nel campo della lingua copta, mi dice che non si conosce alcun termine copto che significhi «staffa». Fine nota.] Si deve quindi concludere che la staffa giunse in Occidente attraverso l'Asia centrale.

Se si tiene conto dei costanti contatti dei bizantini con le popolazioni delle steppe, e della considerevole influenza che queste esercitarono sulle tecniche militari bizantine, è probabile che Costantinopoli abbia ricevuto la staffa poco dopo la sua diffusione nelle grandi pianure dell'Asia sino alle regioni a nord del mar Nero. La prima menzione bizantina della staffa si trova in uno Strategikon - tradizionalmente attribuito all'imperatore Maurizio (582-602) - che per due volte parla di «staffe di ferro». Anche se l'attribuzione di questo trattato militare non fosse mai stata discussa su altra base, le testimonianze sull'introduzione della staffa nell'Iran ci rendono circospetti. Considerando le lotte perpetue dell'impero d'Oriente, prima

con i sassanidi e poi con il califfato, è forse possibile immaginare che questi continuassero ad ignorare la staffa per un secolo, se essa avesse fatto parte realmente dell'equipaggiamento ordinario dei guerrieri catafratti bizantini fino dal 600 circa? Trascurando i dati archeologici ed islamici sulla staffa, la discussione sulla datazione di questo Strategikon è stata combattuta quasi interamente sul terreno della filologia; ciò nonostante un numero considerevole di studiosi pone lo pseudo-Maurizio non già negli ultimi anni del VI secolo, ma nei primi dell'VIII, una data che meglio si accorda con le altre notizie che possediamo sulla diffusione della staffa. [Nota. La datazione tradizionale del 600 è stata difesa da G. Moravcsik, con ricca documentazione. Tuttavia, già nel 1877-8, F. Salamon, tentò di provare che quest'opera non può essere anteriore al IX secolo. Nel 1906 R. Vari, fornì importanti documenti per l'attribuzione dell'opera ad un periodo successivo a quello dell'imperatore Maurizio. La sua tesi fu notevolmente rafforzata da C. M. Patrono. Nel 1929, F. Lemmert, concluse che lo pseudo-Maurizio deve essere collocato al principio dell'VIII secolo. Fine nota.] Nelle discussioni sullo Strategikon, ogniquale volta le staffe vengono nominate, si suppone che i bizantini le abbiano ricevute dagli avari, i quali, a loro volta, le avrebbero portate dall'Asia centrale quando invasero per la prima volta la Pannonia nel 568. Nonostante i prodigiosi sforzi degli archeologi ungheresi, la stratificazione dei materiali avari non è ancora chiara. Reperti «avari» sono sparsi cronologicamente, fra la fine del VI secolo e l'invasione dei magiari, di oltre 300 anni più tarda. Gli avari ricevettero costantemente ed assimilarono correnti etniche ed influenze culturali diverse, sicché essi, o i loro vicini bulgari kuturgur, possono ben essere stati il primo popolo europeo ad usare la staffa, ma l'epoca della sua introduzione è ancora incerta. L'opinione diffusa che alla fine del VI secolo gli avari avessero le staffe sembra poggiare sulla grande autorità dello Hampel, il quale sosteneva che se ne erano «datate con sicurezza» alcune negli scavi di Szent-Endre. Tuttavia la tomba di Szent-Endre, che tanta importanza aveva nelle sue argomentazioni perché conteneva staffe e monete, non può essere del VI secolo: le monete non sono di Giustino I (518-27), ma anche di Foca (602-10), ed in ogni caso esse forniscono solo un terminus a quo. Inoltre il Werner ha osservato che proprio questa tomba è particolarmente incerta perché o è

una tomba doppia, o è stata turbata successivamente da una seconda sepoltura. Non può quindi neppure essere usata, come ha tentato lo Csallany, per dimostrare come gli avari possedessero la staffa verso il 620-30. [Nota. J. Werner, è anch'egli imbarazzato perché questa tomba contiene tre staffe! Fine nota.] Le difficoltà che gli archeologi incontrano per datare l'arrivo della staffa fra gli avari sono palesate dalle argomentazioni di Kovrig, secondo il quale la necropoli di Jutas si sarebbe formata in modo tale che due tombe contenenti staffe sarebbero probabilmente anteriori ad una tomba contenente una moneta di Foca; ma questa moneta può essere stata sepolta persino alcuni anni o alcune generazioni dopo la coniazione. Inoltre la tesi, patrocinata dallo Hampel, dell'esistenza di staffe avarie del VI secolo, non ha più seguito fra gli studiosi ungheresi, e vi è anzi la tendenza a spostare l'arrivo della staffa nel bacino danubiano sempre più in giù nel VII secolo. [Nota. Nel datare incidentalmente 1090 siti avari, Csallany, non pretende di assegnare staffe al VI secolo. Ma ritiene che staffe del VII secolo siano state ritrovate a Baja, Bacsufalu; Komarom, Linz-St. Peter, Pereg, e Szegvar. A ciò si può aggiungere una tomba contenente una staffa, che J. Kovrig assegna al principio del VII secolo. Si dovrebbe notare che il Kovrig tende, rispetto al Csallany, ad antedatate gli oggetti. Fine nota.] Ad ogni modo le staffe avarie non possono essere più utilizzate per sostenere la datazione al tardo VI secolo dello Strategikon dello pseudo-Maurizio.

Numerose staffe sono state trovate nella Prussia orientale ed in Lituania. O. Kleemann afferma che quelle scoperte nelle tombe 8, 9, 12 e 6/38 ad Elenskrug-Forst sono le più antiche, forse le più antiche di tutta l'Europa e, sulla base di alcune ceramiche, e specialmente sulla forma tarda di una fibula, le colloca nella prima metà del VII secolo.

Per datare un prodotto della tecnologia che può essere stato introdotto come una novità mentre la necropoli era ancora usata per le inumazioni, si devono considerare le singole tombe piuttosto che il cimitero nel suo complesso. Le tombe numero 9 e 12 contenevano, oltre alle staffe, del materiale insufficiente per permettere una datazione precisa. La tomba 8 conteneva un vaso tipico non solo del VII, ma anche dell'VIII secolo. La tomba 6/38 conteneva un vaso e due fibule di un tipo molto evoluto che l'Aberg fa risalire non ai primi anni, ma

piuttosto alla metà del VII secolo. Inoltre al tempo dell'inumazione queste fibule non erano nuove; una delle due era stata accuratamente riparata dopo una rottura. Per le staffe di Elenskrug-Forst sarebbe quindi preferibile una datazione fra la fine del VII e l'inizio dell'VIII secolo.

Se gli avari avessero portato con sé la staffa dall'Asia centrale ci si dovrebbe aspettare che i longobardi fossero la prima popolazione germanica a riceverla, perché furono spinti dalla Pannonia in Italia dallo scontro con l'invasione avara del 568. I longobardi erano stati sufficientemente cristianizzati da eliminare i cavalli dalle sepolture dei guerrieri, ma a volte, toccati forse da qualche resipiscenza pagana, ponevano nelle tombe briglie e persino selle. Nessuna di queste selle è però dotata di staffe, né l'assenza di staffe può essere imputata alla ruggine: morsi di ferro ed armi sopravvivono nelle tombe che hanno selle come ornamento. La tomba 119 a Castel Trosino è particolarmente importante perché contiene frammenti di un'armatura avara, un morso di ferro, resti di una sella, speroni, ma. nessuna staffa. [Nota. Thordeman, dice che un'altra armatura a piastre proveniente dalla sepoltura 79 è esposta nel Museo Nazionale di Roma, ma non è elencata dal Mengarelli. Resti di selle prive di staffe furono trovati anche a Castel Trosino, tomba 90, e a Nocera Umbra, tomba 5. Non vi sono staffe provenienti dai cimiteri longobardi di Testona, vicino a Torino, né di Cividale del Friuli. Fine nota.] Le sole staffe longobarde conosciute, una coppia molto bella in bronzo, sono emerse dalla tomba 41 di Castel Trosino: erano state poste dai genitori addolorati nella tomba di una bambina che aveva forse per esse un affetto infantile; ma, a giudicare dalla posizione, la tomba 41 è una delle più recenti del cimitero, e risale probabilmente all'VIII secolo.

Per il periodo merovingico le fonti letterarie tacciono sulle staffe. Tuttavia il Veeck nel 1931, seguito dal Müller-Karpe nel 1949 affermò con argomentazioni archeologiche, che i germani ricevettero la staffa alla fine del VII secolo; a questo periodo verrebbero attribuiti alcuni ritrovamenti da Andelfingen, Oetlingen e Pfahlheim nel Württemberg, e Budenheim nei pressi di Mainz.

Ma il Lindenschmidt, che ha pubblicato la staffa di Budenheim, era riluttante a datarla più esattamente che come staffa «franca», e non vi sono motivi sufficienti per mutare questo giudizio. Quanto ai

ritrovamenti di Andelfingen, né l'elenco del Veeck né la sua fonte parlano di staffe. Il cimitero di Oetlingen poi era in uso durante il periodo di introduzione della staffa; da una tomba sono emersi uno sperone ed un morso, ma non staffe; in una vicina sono state trovate staffe. Il cimitero di Pfahlheim è più ricco, e copre lo stesso periodo: di sette sepolture con cavalli solo una, senza dubbio la più tarda, contiene staffe. Ma la prova che nella seconda metà del secolo VII i germani di questa regione non avessero staffe è fornita dal fatto che esse mancano dall'equipaggiamento completo per cavallo proveniente dalla tomba di un capo alemanno di questo periodo trovata nell'Alsazia. Presumibilmente sia ad Oetlingen che a Pfahlheim le sepolture dei cavalli insieme ai guerrieri continuarono finché gli alemanni non furono effettivamente convertiti al cristianesimo, ovverosia fino a circa il 730.

Dobbiamo quindi ritornare all'opinione dei vecchi archeologi tedeschi secondo i quali le staffe sono apparse per la prima volta in Occidente agli inizi dell'ottavo secolo. [Nota. H. Stolpe e T. J. Arne mostrano un oggetto databile con una certa sicurezza tra il 650 e il 700, che viene spiegato come un rinforzo di ferro per una staffa, di legno, soprattutto per la sua posizione nella sepoltura. Ma la forma ad U della sezione e la mancanza di un anello alla sommità rendono poco probabile l'identificazione. Fine nota.] Oltre alle staffe di Oetlingen e di Pfahlheim, vi sono stati ritrovamenti di questo periodo a Wilflingen e forse a Gammartingen-Simaringen, ambedue nel Württemberg, a Windecken, nell'Assia, e forse a Bingen sul Reno. Da quella data le fatiche di san Bonifacio e dei suoi missionari per persuadere i germani pagani che nudi si varca la soglia del paradiso, riuscirono a bandire la sepoltura con i cavalli fino alla Scandinavia settentrionale non ancora convertita. [Nota. H. Arbman mostra staffe provenienti da una sepoltura del IX secolo presso Groningen, in Olanda. Contrariamente a quanto sostiene H. J. Hundt, le staffe provenienti da Immenstadt nello Schleswig sono probabilmente del IX secolo. J. Pijoan sottolinea che la reazione più importante contro questa tradizione fu lo sforzo iconoclasta di produrre un'arte figurativa profana, legata da una stretta imitazione alla maniera antica, ma essa, naturalmente, avrebbe tralasciato le staffe. Fine nota.] Purtroppo l'arte non ci offre documenti significativi sulla diffusione della staffa né a Bisanzio né in Occidente. Nell'alto

Medioevo, con rare eccezioni, gli artisti di tutta la cristianità non si impegnavano molto a riprodurre gli oggetti del mondo che li circondava. Il naturalismo aveva poco posto nel metodo e nella tecnica degli artigiani di quell'epoca, i quali si dedicavano piuttosto all'elaborazione di modelli tradizionali, spesso ereditati dal periodo classico, carichi di valori simbolici. Da ciò derivò che l'iconografia era lontana dalla realtà e che raramente le innovazioni si riflettevano nell'arte fino a che la loro novità non si fosse, per così dire, esaurita ed esse non apparissero ormai scontate.

Una delle prime rappresentazioni della staffa nell'arte cristiana proviene da una regione dove essa era senz'altro conosciuta da almeno un secolo. La si trova in una miniatura, raffigurante i Magi che cavalcano alla volta di Betlemme, che orna un omeliario giacobita-siriaco proveniente, si ritiene, dalla regione di Mardin, nella Mesopotamia settentrionale, entro i confini del califfato, e databile alla fine dell'VIII secolo o all'inizio del IX. Ma, come abbiamo visto, l'esercito musulmano aveva adottato per la prima volta la staffa nel 694 d. C., a solo poche centinaia di miglia da Mardin.

Un ritardo anche maggiore si riscontra nelle rappresentazioni bizantine. Solo alla fine del IX secolo le staffe appaiono in tre codici greci: il Ms. greco 510 (databile all'880-6) ed il Ms. greco 923, ambedue della Biblioteca Nazionale di Parigi, ed il Salterio Kludov di Mosca. Ma dagli scritti dell'imperatore Leone VI (886-911) sappiamo che in quell'epoca le staffe facevano comunemente parte dell'equipaggiamento della cavalleria bizantina, come avveniva già da cinque generazioni, se accettiamo come assai probabile la datazione dello Strategikon dello pseudo-Maurizio ai primi anni dell'VIII secolo.

Tenendo presenti questi fatti, non ci dovremmo meravigliare di un analogo ritardo in Occidente: al contrario saremmo sorpresi se gli artisti dei regni franchi avessero cominciato a raffigurare le staffe qualche decennio prima di quelli della Grecia orientale. E se Lefebvre des Noëttes credeva che le staffe fossero apparse per la prima volta in Occidente intorno all'840, nell'Apocalisse di Valenciennes, «d'origine spagnola», l'opinione più recente attribuisce invece questo manoscritto alle Alpi tedesche, e lo data poco oltre la metà del IX secolo, insieme all'Apocalisse di Parigi, che appare ad esso molto vicina, e che

egualmente raffigura delle staffe. Tuttavia due cavalieri con le staffe compaiono già nei pannelli dell'840 circa per il famoso altare di sant'Ambrogio a Milano. Inoltre nel Salterio d'oro di San Gallo, che risale alla seconda metà del IX secolo, dei nove cavalieri dei quali si può distinguere l'equipaggiamento, sette hanno le staffe [Nota. Un altro manoscritto latino, probabilmente del IX secolo, contenente staffe, è il Prudenzius di Berna, Biblioteca Pubblica. Nel X secolo aumentano le testimonianze di staffe nell'occidente: si trovano nei Maccabei di Leyda, Biblioteca dell'Università. Fine nota.]: è chiaro che a quell'epoca le staffe erano divenute ormai così abituali che perfino l'artista se ne occupava.

L'archeologia, dunque, e non la storia dell'arte, ci fornisce le prove per determinare la data d'arrivo della staffa nell'Europa occidentale. E questa può essere posta nella prima metà dell'VIII secolo, al tempo appunto di Carlo Martello.

Ma, anche se i missionari benedettini avessero lavorato un po' più rapidamente nell'eliminare i cavalli dalle sepolture, e ci avessero privati della testimonianza degli scavi sull'arrivo della staffa nelle terre germaniche, avremmo egualmente potuto scoprire, con altri mezzi, che essa raggiunse i franchi agli inizi dell'VIII secolo. Fu in quell'epoca appunto che i verbi che indicavano il montare e lo smontare da cavallo insilire e desilire, cominciarono ad essere sostituiti da scandere equos e descendere, nei quali al senso di un'azione compiuta d'un balzo, subentra quello di un movimento graduale. Ma una indicazione più esplicita della drastica evoluzione dalla fanteria al nuovo modo di combattere a cavallo è la completa trasformazione delle armi franche che ebbe luogo in questo periodo.

La francisca, la tipica scure franca da battaglia, e l'ango, il giavellotto dentato, ambedue armi da fanteria, scompaiono nell'VIII secolo, mentre la vecchia spatha si allunga fino a divenire la lunga spada del guerriero a cavallo, che dal IX secolo in poi fu molto apprezzata da bizantini e saraceni. [Nota. A. France-Lanord, trova tali spade sin dal VI secolo, ma assai più numerose a partire dal secolo VIII. Per la balistica e per l'evoluzione della francisca, che era contemporaneamente un'arma da lancio ed un'arma per il combattimento corpo a corpo. Tenendo conto della sua opinione, che la

tendenza occidentale, sin dai tempi di Roma, verso spade sempre più lunghe mostra l'influenza dei cavalieri nomadi dell'Asia, è strano che il Salin sostenga che la spada carolingia fosse un'arma per la fanteria piuttosto che per la cavalleria. Salin trova una grande produzione di spade finemente laminate destinate all'esportazione nella Renania carolingia; ma crede che verso l'XI secolo le spade germaniche intarsiate cadessero in disuso a causa della più pesante armatura difensiva. Tuttavia queste spade continuarono ad essere fabbricate fino al XII secolo. Fine nota.] Ma, fatto ancora più significativo, nei primi decenni dell'VIII secolo si diffuse una lancia dall'asta pesante e con sbarretta d'arresto al di sotto della lama, per impedire che l'arma penetrasse troppo profondamente, il che avrebbe potuto ostacolarne l'estrazione. Questa si trasformò presto nella tipica lancia gigliata carolingia, con sbarretta. [Nota. La lancia con sbarretta d'arresto o gigliata si trova in mosaici romani che ne mostrano l'uso nella caccia di cinghiali, orsi e leopardi. La ferocia di questi animali una volta feriti è tale che lance di questo genere sono state normalmente usate, perfino nei secoli recenti, per la caccia, e possiamo affermare con sicurezza che gli esempi sparsi, anteriori all'età carolingia, erano destinati alla caccia, piuttosto che alla guerra. Gli esempi germanici del Salin dovrebbero essere integrati con quelli tratti dai cimiteri longobardi di Castel Trosino, Nocera Umbra e Testona. Il famoso rilievo di Hornhausen, che mostra un cavaliere con scudo e con una pesante lancia con sbarretta d'arresto è stato attribuito al principio del VI secolo. Tuttavia esso è probabilmente del X secolo. La situazione assurda nella quale senza volerlo perfino un grande studioso può venirsi a trovare, se trascura la tecnologia, non può essere meglio illustrata che dal caso di A. Goldschmidt, *An Early Manuscript of the Aesop Fables of Avianus*, Princeton 1947, che, commentando un disegno dell'VIII-X secolo, di un re a cavallo, dice: «La caratteristica lunga lancia che si incontra nelle monete imperiali bizantine è data parimenti al "rex regum" e, per mezzo di una breve barra trasversale, adattata ad una significazione cristiana.» Fine nota.] Tali lance venivano usate, se dobbiamo credere alle miniature, sia dalla fanteria che dalla cavalleria; ma le novità delle forme è comprensibile solo in funzione del nuovo combattimento d'urto a cavallo, a lancia in resta. Come abbiamo già notato, un fante o un

cavaliere senza staffe, che bilanciassero la lancia col braccio, avrebbe difficilmente potuto trafiggere un avversario tanto profondamente da immobilizzare l'arma. Al contrario un cavaliere con staffe e lancia in resta, che portasse il colpo con tutto il peso del corpo e del cavallo avrebbe potuto farlo spesso, a meno che la sua lancia non fosse stata fornita di un ostacolo sotto la punta. La diffusione della lancia gigliata è appunto la prova che sotto Carlo Martello ed i suoi figli si cominciava a comprendere il significato della staffa nel combattimento d'urto. [Nota. La sbarretta trasversale delle nuove lance era così appariscente e così facilmente riproducibile che gli artisti rapidamente l'adottarono. Tuttavia la rappresentazione della lancia tenuta in resta si fece strada molto lentamente: mancava la magnificenza del gesto che è nel colpo vibrato con il braccio, tanto che questa ultima immagine si trova perfino nell'Arazzo di Bayeux, in un periodo nel quale ormai assai difficilmente si sarà potuto ammirarlo in una vera battaglia. Nelle rappresentazioni è spesso molto difficile distinguere la lancia pesante dell'espieu o lancia leggera fatta per essere tenuta protesa con tutto il braccio. Quest'ultima si trova ancora nell'Arazzo di Bayeux, ma cadde in disuso sulla fine del XII secolo. R. Crozet mette in evidenza la complessità e l'importanza della tradizione iconografica in tali immagini. Le più antiche rappresentazioni della lancia tenuta in resta si incontrano nella Biblioteca civica di Berna, e nella grande Bibbia di San Paolo fuori le Mura. Esempi del X secolo si possono trovare a Bruxelles, e nella biblioteca dell'Università di Leida. Lefebvre des Noëttes assegna al 1120 circa il più antico esempio che egli riporti di lancia in resta; ma Neuss lo pone tra il 1028 e il 1072; M. Schapiro restringe la datazione al 1050-1072. M. Avery, mostra un esempio del principio dell'XI secolo. L'artificiosità di molte rappresentazioni artistiche e il persistere dell'antica e convenzionale posizione di attacco, sono mirabilmente dimostrate in un frontespizio del 1611, che rappresenta un cavaliere con armatura tipica del tardo Medioevo, il quale porta la lancia alla maniera classica mentre accanto a lui sono. Atena ed Eracle. Nella letteratura feudale c'è una assimilazione graduale degli elementi drammatici del combattimento d'urto, con il crescente interesse per la velocità del cavallo nella carica, che determinava la potenza del colpo della lancia, e con una attenzione particolare per il gesto di porre la lancia in resta al

momento della carica. Fine nota.] La storia è ricca di invenzioni che sono rimaste a lungo in letargo, e che poi finalmente - di solito per ragioni che rimangono misteriose - si destano per divenire elementi attivi nel modellare una società per la quale non erano del tutto nuove. Si può pensare che Carlo Martello, o i suoi consiglieri militari, si siano accorti delle possibilità della staffa quando questa era già nota ai franchi da alcuni decenni. Tuttavia lo stato attuale delle nostre conoscenze ci dice che in effetti questa era giunta da poco quando fu usata come base tecnologica della riforma militare.

Man mano che le nostre conoscenze sulla storia della tecnologia aumentano diviene chiaro che un nuovo strumento indica semplicemente una strada, ma non costringe a percorrerla. L'accogliere o il rifiutare un'invenzione, o, se è accettata, il grado di comprensione delle sue implicazioni, dipende tanto dalle condizioni della società e dall'immaginazione dei suoi capi, quanto dalla natura stessa dell'oggetto. Come vedremo, gli anglosassoni usavano la staffa, ma non la comprendevano; e per questo pagarono un alto prezzo. Per quanto rapporti e istituzioni semifeudali fossero stati a lungo presenti nel mondo civile, furono solo i franchi, presumibilmente guidati dal genio di Carlo Martello, che afferrarono a pieno le possibilità inerenti alla staffa e crearono, in funzione di questa, un nuovo tipo di combattimento fondato su quella nuova struttura della società che chiamiamo feudalesimo.

Capitolo III

Il combattimento d'urto a cavallo e l'atmosfera della vita feudale.

La classe feudale del Medioevo europeo esisteva in quanto esistevano i cavalieri, che combattevano in una particolare maniera resa possibile dalla staffa. Questa élite creò una cultura secolare, strettamente legata al suo modo di combattere, e fiancheggiò vigorosamente la cultura della Chiesa. [Nota. Confrontata con la cultura ecclesiastica, la cultura cavalleresca sembra aver avuto profonde diversità; ad esempio E. R. Labande dimostra che le preghiere dei cavalieri contengono soprattutto elementi biblici, e temi molto meno leggendari ed apocritici di quelli che si incontrano nell'iconografia delle chiese contemporanee. Fine nota.] Le istituzioni feudali, la classe dei cavalieri e la cultura cavalleresca si modificarono, crebbero e scomparvero, ma per un millennio portarono il segno della loro origine dalla nuova tecnica militare dell'VIII secolo.

Sebbene il denaro non avesse affatto cessato di circolare nel regno franco, tuttavia l'Occidente dell'VIII secolo era più vicino ad una economia di baratto di quanto non fossero Bisanzio e l'Islam. [Nota. Uno dei misteri insoluti della storia economica è l'improvviso passaggio dei franchi, intorno al 700, da un sistema aureo ad un sistema argenteo. Anche l'Italia e la Spagna musulmana abbandonarono la monetazione aurea in quel periodo. A. R. Lewis sostiene che il passaggio dall'oro all'argento alla fine del VII secolo è connesso all'apertura delle nuove miniere d'argento nella Gallia ed in Inghilterra, e questo è un segno di prosperità commerciale, piuttosto che di regresso. Tuttavia R. Doehaerd dimostra che il nuovo «denaro» carolingio era basato su di un rapporto di conio musulmano, e ciò sta ad indicare che la circolazione monetaria era più importante in oriente che nelle regioni franche. Fine nota.] Inoltre la burocrazia del regno carolingio era così debole che l'esazione delle tasse da parte del governo centrale riusciva difficile. La terra era la

forma fondamentale di ricchezza. Quando Carlo Martello ed i suoi eredi decisero che era indispensabile assicurarsi una cavalleria in grado di combattere secondo la nuova e costosa tecnica, presero Tunica via possibile: confiscarono le terre della Chiesa e le distribuirono ai vassalli, a condizione che costoro servissero come cavalieri nell'esercito franco. [Nota. La prevenzione contro le confische delle terre della Chiesa era così forte che verso il 755 i Carolingi cominciarono a richiedere ai possessori di tale precariae verbo regis che pagassero ai precedenti proprietari ecclesiastici un quinto del prodotto annuale. Chiarendo una questione a lungo imprecisata, G. Constable dimostra che questi pagamenti erano del tutto distinti dalla decima che era dovuta regolarmente da tutte le terre. Fine nota.] Combattere secondo la nuova tecnica richiedeva forti spese. I cavalli erano costosi, e l'armatura doveva essere più pesante per fare fronte alla violenza del combattimento d'urto. Nel 761 un certo Isanhard, ad esempio, vendé le terre avite ed uno schiavo per un cavallo ed una spada. Sembra che, in linea di massima, l'equipaggiamento per un uomo costasse circa venti buoi, cioè i buoi da lavoro per almeno dieci famiglie contadine. Si aggiunga che i cavalli venivano uccisi, sicché il cavaliere aveva bisogno di cavalli di ricambio; ed anche lo scudiero doveva essere fornito di un'adeguata cavalcatura. I cavalli consumano inoltre una grande quantità di biada, un prodotto importante in un'epoca nella quale la produzione agricola era inferiore alla nostra. Per quanto nel regno franco il diritto ed il dovere di portare le armi ricadessero su tutti gli uomini liberi, indipendentemente dalle condizioni economiche, i più potevano ovviamente permettersi di recarsi all'assemblea solo a piedi, equipaggiati con armi e corazza relativamente economici. [Nota. Questa posizione ortodossa è stata confutata brillantemente, ma credo senza successo, da H. Dannebauer, il quale sostiene che la nozione di un dovere generale di tutti gli uomini liberi al servizio militare è un trasferire ai franchi un concetto proprio del XIX secolo: egli afferma invece che un tale servizio era dovuto soltanto da coloro che risiedevano nelle terre regie (centenae). Sebbene, tranne il caso di circostanze eccezionali e disperate, semplici considerazioni logistiche sconsigliassero l'arruolamento dell'intera popolazione maschile nell'esercito, nondimeno in tutti i regni germanici sembra sopravvivesse

uno spirito tribale sufficiente ad equiparare il semplice uomo libero con il guerriero. Tuttavia l'idea che i fanti si presentassero talvolta armati soltanto di bastoni sembra improbabile, malgrado il Capit. Aquisgranense (801-13): «Quod nullus in hoste baculum habeat, sed arcum». Mangoldt-Gaudlitz, emenda intelligentemente con jaculum, nel qual caso il capitolare mostra lo sforzo compiuto da Carlomagno per organizzare la fanteria in modo tale che potesse cooperare efficacemente con la cavalleria. Il giavellotto induceva i contendenti a combattere così vicini che la cavalleria non avrebbe potuto caricare efficacemente senza travolgere la propria fanteria. Nell'antichità la cavalleria aveva generalmente la funzione di difendere le ali, ma quando si fu pienamente sviluppato lo schieramento medioevale di battaglia la cavalleria prese posizione alle spalle della fanteria, con pattuglie lungo i fianchi. I fanti iniziavano la battaglia con una grandine di frecce, e poi i cavalieri caricavano il nemico attraverso varchi lasciati liberi tra le unità dei loro stessi arcieri. K. Rubel sottolinea che punte di frecce franche sono state per la prima volta trovate negli scavi delle fortificazioni degli ultimi anni del regno di Carlomagno. Le frecce usate in battaglia (ben distinte dalle frecce per la caccia) tendevano progressivamente a perdere le alette, poiché una forma più compatta sarebbe penetrata meglio nelle corazze che si facevano sempre più pesanti. Malgrado la loro tattica di stretta cooperazione con gli arcieri, i cavalieri medioevali disprezzavano le armi da lancio, come armi degli strati sociali più bassi. Fine nota.] Come si è detto, Carlomagno tentò di trarre anche da costoro dei cavalieri, ordinando agli uomini liberi meno facoltosi di riunirsi in rapporto all'estensione delle loro terre e di equipaggiare uno di loro e mandarlo in guerra. [Nota. Fehr, dimostra che il tentativo compiuto da A. Dopsch, di provare che questo piano di ripartire il peso delle prestazioni militari fosse anteriore a Carlomagno, si fonda su di un'interpretazione errata di un capitolare dell'825. Fine nota.] Una tale disposizione era difficile ad attuarsi, e non sopravvisse alla confusione della fine del IX secolo; ma era anche il riconoscimento che, se la nuova tecnica di combattimento doveva svilupparsi consistentemente, il servizio militare sarebbe dovuto divenire un fatto di classe. Chi non poteva economicamente permettersi di combattere a cavallo soffriva di un'inferiorità sociale, che in breve divenne inferiorità giuridica.

Nell'808 l'impropria terminologia del capitulare *De exercitu* promovendo distinse i «liberi» dai «pauperes»: l'espressione è inesatta dal punto di vista giuridico, ma risale ad un'epoca nella quale la condizione di uomini liberi si andava limitando ai proprietari. Due capitolari dell'825 mostrano come si andassero evolvendo i concetti. Uno separa i «liberi» dai «mediocres quippe liberi qui non possunt per se hostem facere»; mentre l'altro si riferisce ai secondi come «liberi secundi ordinis». Con la crisi dell'impero franco, la feudalità, che i Carolingi avevano deliberatamente creato in funzione del nuovo metodo militare del combattimento d'urto a cavallo, perché fosse la spina dorsale del loro esercito, divenne ad un tempo classe dirigente ed élite guerriera. L'antica leva degli uomini liberi fu abolita (anche se la fanteria non lo fu completamente) e si creò un vuoto fra l'aristocrazia guerriera e la massa dei contadini. Verso l'anno 1000, miles non significa più «soldato», bensì «cavaliere».

Il signore feudale poteva essere uomo di governo, ma ciò era qualcosa di accidentale della sua natura di uomo di guerra. Uno studioso di poesia medioevale ha notato come «l'elemento essenziale della vera cavalleria è il punire i malfattori, non tanto per ossequio alla legge quanto in sostituzione od in aggiunta della legge». L'immagine del cavaliere riflessa nella letteratura mostra che il rispetto di sé era basato essenzialmente su due virtù ideali: lealtà e fedeltà al proprio signore (e, dopo che i trovatori ebbero esercitato la loro influenza, anche alla propria donna), e valore nel combattimento. Sia la *loiauté* che la *proesce* erano dunque connesse strettamente alle origini del feudalesimo.

I membri della classe feudale detenevano le loro terre e godevano della loro posizione per la lealtà con la quale adempivano ai doveri di cavaliere. Gradualmente il concetto si estese fino a comprendere altri servizi, in particolar modo quello di far parte della corte del proprio signore. Ma l'obbligo originario e fondamentale del cavaliere era il combattimento d'urto a cavallo. Quando, verso la fine del IX secolo, l'autorità centrale del sovrano svanì, la subinfeudazione permise che il concetto di lealtà rimanesse vitale. I possessi feudali presto divennero ereditari, ma potevano essere ereditati soltanto da chi fosse in grado di adempiere al dovere del servizio di cavaliere. Elaborate norme sulla

tutela dei minori, e regolamenti che richiedevano che vedove ed eredi si maritassero, servivano a garantire il presupposto essenziale dell'infeudazione.

La classe feudale non ripudiò mai la condizione originaria della propria esistenza: era stata creata per combattere, e chiunque non avesse voluto o potuto adempiere all'obbligo militare sarebbe decaduto dal beneficio. Il dovere del servizio di cavaliere è la chiave di volta delle istituzioni feudali. Esso è la «pietra di paragone del feudalesimo, perché tutto il resto ne derivava; e la sua accettazione quale principio determinante della proprietà terriera comportava una rivoluzione sociale». È soprattutto la concezione feudale, che il godimento di una ricchezza è inseparabile da una responsabilità pubblica, che distingue l'idea medioevale della proprietà, sia da quella classica che da quella moderna. La classe dei vassalli, creata dalla rivoluzione militare dell'VIII secolo, divenne per generazioni l'elemento dirigente della società europea, e attraverso il caos che seguì, e nonostante tutti gli abusi, essa non perse mai completamente il senso che noblesse oblige, anche quando una nuova classe rivale, la borghesia, rinnovò la nozione romana della proprietà incondizionata o socialmente irresponsabile. La seconda componente del suo orgoglio di cavaliere, il valore, era strettamente congiunto all'adempimento esemplare del servizio. A parte il costo delle armi e dei cavalli, il nuovo modo di combattere distrusse inevitabilmente l'antica idea germanica che ogni uomo libero fosse un soldato. Il combattimento d'urto non era compito di guerrieri temporanei; bisognava essere un abile professionista, prodotto di un lungo addestramento tecnico, ed in condizioni fisiche eccellenti. Verso la fine del IX secolo Rabano Mauro cita un proverbio franco secondo il quale per imparare a combattere si deve iniziare nella pubertà. E ancora più significativa è la notizia di Rabano che a quel tempo le dimore dei grandi signori erano già divenute scuole nelle quali i ragazzi venivano addestrati nelle arti della cavalleria, compresa probabilmente la pratica del torneo. [Nota. Poiché nella sua dedica al re Lotario Rabano afferma che nel riassumere Vegezio ha eliminato quegli argomenti, «quae tempore moderno in usu non sunt», la sua attenzione per la discussione di Vegezio sull'uso di un palo come fantoccio nell'addestramento dei guerrieri, si collega probabilmente allo sviluppo della quintana del IX

secolo. Sebbene non menzioni staffe, Rabano aggiunge alla descrizione di Vegezio dell'uso di cavalli di legno per allenare gli uomini armati a salire, la notazione seguente: «Quod videlicet exercitium salendi in Francorum populis optime viget.» La dimensione crescente delle lance per la cavalleria è indicata nella medesima sezione: Vegezio parla di conti, Rabano di conti praemagni. Quanto alla datazione dell'opera: la teoria del Dummler, secondo cui Rabano, all'età di circa ottant'anni, l'avrebbe composta tra l'855 e l'856, durante gli ultimi quattro mesi della sua vita, non sembra necessaria, dal momento che dopo la morte di Luigi, avvenuta nell'840, Rabano aveva parteggiato per Lotario. Fine nota.] Lo Stenton ha notato che «l'apprendistato che precedeva l'investitura è probabilmente il fatto più significativo della società feudale». Esso saldava una casta militare cosciente di sé, cosmopolita, consapevole della propria solidarietà e fiera delle proprie tradizioni, delle quali una parte essenziale era la grande rivalità fra i cavalieri nelle gesta d'armi. Quando un giovane era infine ammesso nella corporazione dei cavalieri, l'ammazzar draghi diveniva suo compito professionale. [Nota. Stranamente, poco si sa sul nascere e sul diffondersi della cerimonia di vestizione. The Anglo-Saxon Chronicle dice che nel 1086 il re Guglielmo «vestì cavaliere suo figlio Enrico a Westminster il giorno di Pasqua». F. Pietzner afferma che non vi sono prove in Germania di questa cerimonia prima del 1312. Che il miles cominciasse ad accogliere sempre di più forme di consacrazione religiosa sin dal V secolo è dimostrato da K. J. Hollyman. A. Waas ravvisa una delle radici delle Crociate in una particolare Ritterfromigkeit, che può anche risalire all'età di Carlomagno. I rituali della vestizione sorsero forse dalle antiche forme di consacrazione del defensor ecclesiae. M. Andrieu descrive una liturgia compilata a Mainz intorno al 950, che è ambigua nel riferimento al defensor o al miles, ma che prevede la benedizione dell'insegna, della lancia, della spada e dello scudo del cavaliere. L'Andrieu nota che, mentre non vi è menzione alcuna degli speroni in questa liturgia del X secolo, in una copia italiana manoscritta del XIII secolo una mano di poco posteriore ha aggiunto una preghiera ai calcari. Sebbene gli speroni siano stati comunemente usati nell'Europa settentrionale fin dai tempi della civiltà di La Tène, non fu che dopo la comparsa della staffa che furono considerati degni d'essere dorati. Uno

sperone dorato della fine dell'VIII secolo proviene da Pfahlheim nel Württemberg; ne abbiamo poi un magnifico paio della fine del IX secolo, provenienti da Mikulcice in Moravia, uno del X secolo dalla Norvegia, ed uno da Amburgo, del 1000 circa. Massmann, non trova alcuna testimonianza nelle fonti dialettali germaniche che gli speroni d'oro avessero un valore simbolico prima della fine del XIII secolo. Tuttavia la Vita Henrici IV imperatoris, che fu scritta poco dopo il 1106, probabilmente a Magonza o a Spira, ci testimonia che gli speroni d'oro erano abituali tra i cavalieri germani, e F. L. Ganshof crede che speroni, spesso dorati, fossero in uso nella vestizione fin dal XII secolo. Fine nota.] Il nuovo modo di combattere, con la sua grande mobilità ed i paurosi scontri, apriva un campo nuovo alla prodezza individuale. Erano passati i vecchi tempi delle formazioni chiuse e compatte, quasi un muro di scudi, che respingevano e colpivano. Anche se nell'età feudale le battaglie più importanti venivano spesso progettate accuratamente, ed eseguite con una ammirevole disciplina da squadroni di cavalieri, la vita emotiva del guerriero era altamente individualizzata. [Nota. J. F. Verbruggen distrugge l'immagine convenzionale delle battaglie medioevali come disordinate carneficine. Al contrario i cavalieri abitualmente combattevano, sia sul campo che nei tornei, in conrois di un numero compreso tra dodici e quaranta, agivano come un gruppo d'assalto e ponevano particolare cura nel mantenere una linea di formazione durante la carica. Fine nota.] Lunghi passi delle chansons de geste sono dedicati a resoconti, colpo per colpo, di possenti scontri che possono essere apprezzati solo se ci si immagina l'interesse tecnico dell'uditorio feudale. Ed infine con la Cronaca di Froissart il mondo cavalleresco scrisse la sua filosofia della storia, lì dove affermava che il ricordo dei grandi fatti di armi per l'educazione della posterità, era il compito maggiore di Clio.

La prestantza fisica e l'abilità nell'uso delle armi erano i presupposti che in battaglia permettevano di dar prova di fedeltà al giuramento e di ardire. A questo fine la classe feudale scoprì ed elaborò una simulazione realistica e mortale della guerra: il torneo. Nell'842 vi fu un formidabile torneo vicino a Strasburgo alla presenza di Carlo il Calvo e di Ludovico il Germanico, ed a quel tempo tali avvenimenti non erano evidentemente eccezionali. Testimonianze concrete su tali giostre

cavalleresche sono tuttavia scarse fino al XII secolo. Da allora in poi essi «costituirono, fino alla guerra dei Trent'anni, il passatempo della classe superiore». [Nota. R. C. Clephan e N. Denholm-Young sottolinearono il brutale realismo del torneo come pratica di guerra. Fine nota.] Mentre aumentava la violenza del combattimento d'urto, l'abilità degli armaioli cercò di farvi fronte costruendo protezioni sempre più pesanti per il cavaliere, il quale divenne sempre più irriconoscibile sotto il suo guscio; fu quindi necessario mettere a punto segni di identificazione. [Nota. Che l'identificazione, e non il semplice ornamento, fosse la ragione funzionale del sorgere dell'araldica è dimostrato dal fatto che il più antico termine per armi è *cunuissances* o *conoissances*. Dal momento che tutti i guerrieri, fino alla nostra età di mimetizzazione, avevano le armi decorate, dovremmo guardarci dallo scoprire l'araldica sin agli inizi del X secolo, quando Abbo dice che dalle mura di Parigi assediata «*nihil sub se nisi picta scuta videt*». Fine nota.] Nell'Arazzo di Bayeux, della fine dell'XI secolo, i pennoncelli sono più caratterizzati degli scudi, ma all'inizio del XII secolo entrarono in uso in Francia, in Inghilterra ed in Germania, non solo insegne araldiche, ma anche stemmi ereditari. [Nota. Tuttavia la Bibbia di Farfa, catalana della prima metà dell'XI secolo, Biblioteca Vaticana, mostra dei disegni sugli scudi altamente individualizzati. E. Gritzner, è probabilmente nel giusto nel ritenere che le bandiere militari, piuttosto che gli scudi decorati siano stati all'origine dell'araldica medioevale. P. Paulsen osserva, senza fornire spiegazioni, che, mentre le bandiere militari erano state comuni tra i romani e tra i barbari, non appaiono però attaccate alle lance fino al X secolo. Si dice che un mosaico, ora scomparso, del 796-800 in San Giovanni in Laterano mostrasse il *vexillum Romanae urbis* sotto forma di un pennoncello su di una lancia, ma lo schizzo che ci rimane potrebbe essere poco fedele. A cominciare da Corrado I (911-18) l'imperatore germanico è spesso rappresentato con una lancia con pennoncello, e la tradizione comincia nel 915 in Italia con Berengario. La famosa lancia santa del tesoro imperiale, che risulta essere una lancia gigliata carolingia, è menzionata per la prima volta nel 939, come proprietà di Ottone I. Dotata di un pennoncello, divenne subito vessillo imperiale. In realtà le insegne con lancia e pennoncello dei principi del X secolo hanno origine, non solo dalla

tecnologia militare del tempo, ma forse anche dall'antico uso etrusco e romano di una lancia (senza pennoncello) come simbolo dell'autorità. Abbiamo visto che per evitare una penetrazione troppo profonda della lancia alcune popolazioni nomadi dell'Asia attaccavano code di cavallo sotto la lama. Le code sulla lancia di un capo divennero probabilmente un'insegna militare, e nell'866, rispondendo alle domande di un re bulgaro, il papa Nicola I dice: «Quando proelium inire soliti eratis, indicatis vos hactenus in signo militari caudam equi portasse». Tuttavia già a quel tempo lance a due mani con pennoncelli di stoffa si usavano in Asia e nei Balcani. Il Salterio di Khludov, della fine del IX o del principio del X secolo, mostra un comandante con un pennoncello sulla lancia e due soldati con semplici strisce di stoffa legate sotto la punta della lancia. Nel X secolo i bulgari del Volga usavano pennoncelli sulle loro lance. Poiché la sbarretta metallica trasversale della lancia gigliata carolingia si poteva talora incastrare pericolosamente nella corazza della vittima si da ostacolare il recupero della lancia, il pennoncello dei nomadi la sostituì generalmente nell'Occidente verso la fine del X secolo; san Gerolamo, In Daniele, databile al 975, mostra un pennoncello triangolare su di una lancia, mentre una miniatura del 1000 circa raffigura sia la sbarretta trasversale che il pennoncello in una lancia da insegna consegnata da un santo ad un guerriero a cavallo. Mille anni dopo, sebbene ne siano state dimenticate le origini nella tecnica militare, la bandiera nazionale è ancora di solito attaccata ad una lancia. Fine nota.] E non è un giochetto semantico dire che il cavaliere feudale era riconosciuto, nella sua società, dalle armi che portava: le esigenze del combattimento d'urto, così come era stato inventato dai franchi dell'VIII secolo, aveva formato la sua personalità ed il suo mondo. Dovunque il regno carolingio estendesse i suoi vasti confini, li furono adottati il suo modo di combattere, le sue istituzioni feudali e si posero le basi della cavalleria. In Italia, ad esempio, per quanto si possano scoprire anticipazioni di rapporti feudali nel regno longobardo, la combinazione di vassallaggio e beneficio fu introdotta solo dalla conquista di Carlomagno alla fine dell'VIII secolo. Ma anche e dove le istituzioni e i costumi franchi non penetrarono, il nuovo modo di combattere non poté essere ignorato, A Bisanzio la nuova tecnica militare dei franchi fece sentire i suoi effetti al tempo di Niceforo II

Foca (963-969), il quale, a causa del grande aumento del costo delle armi, si vide costretto ad aumentare il valore del minimo inalienabile della dotazione militare da quattro a dodici libbre d'oro. [Nota. P. Lemerle deplora giustamente la mancanza di studi particolari sull'armamento bizantino, che ci permetterebbero di giudicare esattamente le basi della drastica azione di Niceforo Foca. Fine nota.] Qui, come in Occidente, l'evoluzione militare determinò una profonda evoluzione sociale. Come Ostrogorskij ha notato ciò «deve aver significato senza dubbio che l'esercito bizantino fu, da allora in poi, composto da una classe sociale differente. I soldati pesantemente armati di Niceforo non potevano più essere la milizia contadina». [Nota. Lemerle confuta l'Ostrogorskij su questo punto; ma, quali che fossero le intenzioni di Niceforo Foca, l'effetto del suo decreto non sarebbe stato poi di elevare il soldato beneficiario ad una classe sociale superiore? Fine nota.] Come i germani loro vicini, i greci diedero il massimo risalto alla cavalleria, al punto che nel X secolo la guarnigione di Costantinopoli consisteva di quattro reggimenti di cavalleria e di uno solo di fanteria.

Anche la forma e l'uso delle armi bizantine furono copiati da quelle occidentali. Così, mentre le prime raffigurazioni franche di lance tenute in resta risalgono alla fine del IX secolo, quelle bizantine compaiono fra il X e l'XI secolo. [Nota. D. Koco mostra una pietra tombale bosniaca del basso Medioevo con due cavalieri che portano elmetti di foggia orientale, ma forniti di scudo occidentale, che giostrano con lancia in resta. Fine nota.] Inoltre intorno all'anno 1000 le esigenze del combattimento d'urto avevano indotto i franchi a modificare il vecchio scudo circolare od ovale allungandolo in forma di mandorla, così da offrire una maggior protezione alla gamba sinistra del cavaliere; un secolo più tardi ritroviamo tale mutamento a Costantinopoli. E la balestra, che l'Occidente aveva o inventata, o portata a nuova vita, o tratta dalla Cina verso la fine del X secolo come «arma anti-corazza» per perforare le nuove massicce armature, era ancora una novità per Anna Comnena, a Bisanzio, al tempo della I Crociata. [Nota. La balestra era largamente usata in Cina almeno dai primi tempi della dinastia Han. La balestra cinese era fornita di un grilletto particolare, molto efficiente, la cui esportazione era proibita, e

le cui parti mobili potevano essere riprodotte soltanto da artigiani molto abili. Nondimeno parte di un grilletto di una balestra Han è stata trovata a Taxila, ed è forse del I secolo d. C.. Nel 36 a. C. gli eserciti cinesi usarono balestre nella Sogdiana, quando catturarono, a quanto sembra, più di cento soldati romani, che erano stati anche catturati dai parti nel 54 a. C.; e costoro i cinesi stabilirono nella provincia di Kansu, in una nuova città, che chiamarono con il nome cinese di Roma. Attraverso questi canali l'idea della balestra, anche se non il sistema cinese di scatto, senza dubbio raggiunse l'Occidente. Tuttavia la balestra non era largamente in uso tra i romani: stranamente, le due rappresentazioni che ce ne rimangono, ambedue del I-II secolo d.C., si trovano entrambe, a Le Puy, ma sembrano essere autentiche. Non può essere rintracciata in età più antica: la cheiroballista di Erone è un mito. J. Hoops, sostiene, attraverso l'interpretazione di un indovinello anglosassone alquanto ambiguo, che la balestra si continuasse ad usare durante l'alto Medioevo. Certamente l'ampia diffusione della balestra si originò dall'Europa, e non dalla Cina: il sistema di scatto molto semplice delle balestre del golfo di Benin, è derivato probabilmente da un tipo usato ancora recentemente in Norvegia, ed introdotto, presumibilmente in Africa verso la fine del XV o durante il XVI secolo, non dai portoghesi, ma dai cinesi, dagli olandesi o dagli inglesi; mentre i sistemi di scatto delle balestre di Malabar, Cochin e Travancore sono di tipo europeo, e in tamil e malayalam tali armi sono chiamate «franche». Fine nota.] Neanche l'Islam fu esente, perfino prima delle Crociate, dal contagio delle idee militari franche. Nel 1087, quando gli architetti armeni costruirono Bab an-Nasr, una delle tre grandi porte del Cairo, la decorarono con un fregio di scudi, alcuni rotondi, altri rotondi nella parte superiore ed appuntiti in quella inferiore, come ne vediamo portare dai normanni nell'Arazzo di Bayeux. Ed il termine arabo per questo scudo a punta, tariga, deriva dal francese targe. Più tardi, ai tempi del Saladino, i musulmani usavano molti tipi di balestre, avevano adottato il nuovo metodo del combattimento d'urto, ed il loro termine per indicare la lancia pesante, quntariya, è di derivazione greca o romanza. Essi ammiravano molto lo splendore degli scudi cristiani dipinti, ed è quasi certo che il concetto base dell'araldica saracena sia un riflesso di quella franca. Verso la fine del XIII secolo il torneo di tipo occidentale era

praticato dalla cavalleria musulmana della Siria e dell'Egitto. Tuttavia il fatto più significativo è forse l'ammirazione con la quale al-Herewi (m. nel 1211 d. C.) descrive l'ordinata tattica di battaglia dei franchi e la maniera nella quale cavalleria e fanteria si davano reciproco aiuto.

Se tale era la situazione nel Levante, ci dovremmo aspettare un'influenza franca anche maggiore sulla Spagna musulmana. Abbiamo già rilevato che i mori diedero grande sviluppo alla cavalleria una generazione dopo la riforma di Carlo Martello, e vi furono probabilmente indotti da questa. Ad ogni modo nel XIII secolo i cavalieri della «Reconquista» erano modelli di stile per gli avversari saraceni. Ibn Said ci dice che «molto spesso i principi ed i guerrieri andalusi prendono i vicini cristiani come modelli per l'equipaggiamento. Le loro armi sono identiche, e così pure i mantelli scarlatti o di altro tipo, i pennoncelli e le selle; simile è anche il loro modo di combattere con gli scudi e le lunghe lance per la carica. Essi non usano né la mazza né l'arco arabi, ma la balestra franca per gli assedi, e con essa armano la fanteria per gli scontri con il nemico». I berberi, al di là dello stretto di Gibilterra, che non venivano spesso a contatto con le armi cristiane, potevano usare, osserva Ibn Said, un equipaggiamento leggero; il pericolo cristiano costringeva i musulmani spagnoli ad essere «appesantiti dallo scudo, dalla lunga e pesante lancia, dalla cotta di maglia, e non si potevano muovere facilmente: dovevano porsi saldamente in sella, e formare col cavallo una cosa sola rivestita di ferro». [Nota. Il periodo esatto dell'influenza franca sulla Spagna musulmana è ancora da determinare. Ibn Haukal, viaggiatore del X secolo, critica l'aspetto di gran parte dei cavalieri andalusi sia perché non usavano staffe o perché lasciavano penzolare le gambe, libere dalle staffe. La lancia richiedeva una staffa lunga; l'arco e il giavellotto una staffa corta. Fine nota.] Tuttavia l'espansione più spettacolare della tecnica militare franca, con tutti gli elementi sociali e culturali ad essa connessi, fu la conquista normanna dell'Inghilterra. Gli anglosassoni avevano familiarità con la staffa, ma non avevano modificato sufficientemente la tecnica di battaglia in funzione di questa. [Nota. Una staffa del tempo dei vichinghi è stata trovata nel Tamigi. Fine nota.] Nell'Inghilterra anglosassone troviamo elementi feudali, come ve ne erano stati nella Gallia merovingica, ma vi era una scarsa inclinazione

verso il feudalesimo come sistema, o verso la formazione di una élite di guerrieri a cavallo. Aroldo, i suoi thegns e gli housecarls, montavano, è vero, cavalli con le staffe; alla battaglia di Stamford Bridge re Aroldo Hardrada di Norvegia disse di lui «che era un uomo piccolo, ma stava saldamente sulle staffe»; tuttavia quando giunsero ad Hastings scesero di sella per combattere a piedi, secondo l'antica tecnica germanica della barriera di scudi con la quale Carlo Martello aveva sconfitto i saraceni a Poitiers. [Nota. W. G. Collingwood mostra un rilievo anglosassone del 1000 circa, proveniente da Gosforth nel Cumberland, che rappresenta un esercito armato di pesanti spade e di scudi rotondi sovrapposti per formare una parete continua. Fine nota.] Ad Hastings gli anglosassoni avevano una posizione vantaggiosa sulla collina di Senlac, ed erano probabilmente più numerosi dei normanni; avevano la forza psicologica di chi combatte per respingere gli invasori del proprio paese; il risultato era tuttavia scontato: era lo scontro fra la tecnica militare del VII secolo e quella dell'XI. [Nota. Nella sua brillante ricostruzione, - non solo della battaglia di Hastings, ma dell'intera campagna della quale essa fu il punto culminante, R. Glover dimostra che gli anglosassoni potevano effettivamente combattere come cavalleria, e spiega alcune delle circostanze particolari che determinarono il loro ritorno alla fanteria a Senlac. Tuttavia egli sottovaluta il conservatorismo iconografico dell'Arazzo di Bayeux nel rappresentare i metodi normanni di combattimento, e le sue scoperte, come è stato osservato da G. W. S. Barrow, non mutano il fatto essenziale «che Hastings rappresentò una disfatta decisiva della fanteria da parte della cavalleria con arcieri». Fine nota.] Aroldo combatteva senza cavalleria ed aveva pochi arcieri; anche gli scudi inglesi erano antiquati: l'Arazzo di Bayeux mostra che, mentre la guardia reale combatteva con scudi allungati, frutto probabilmente dell'educazione continentale di Edoardo il Confessore, la maggior parte degli anglosassoni aveva scudi tondi o ovali. Fin dall'inizio Guglielmo prese l'iniziativa con gli arcieri e la cavalleria, e gli inglesi non poterono fare altro che rimaner fermi e resistere a quella mobile forza d'urto, che alla fine si rivelò irresistibile.

Quando Guglielmo ebbe la vittoria e la corona d'Inghilterra, modernizzò rapidamente il suo regno, cioè lo feudalizzò. Naturalmente preservò ed incorporò nell'ordine anglo-normanno tutti gli istituti

anglosassoni che si rivelarono adatti al suo scopo. Ma la frattura col passato era assai più evidente della continuità. Come i Carolingi 300 anni prima avevano deliberatamente sistemato e disciplinato le tendenze feudali, da tempo esistenti nella società franca, allo scopo di rafforzare la loro posizione, così Guglielmo il Conquistatore adoperò l'organizzazione feudale ormai completamente sviluppata nell'XI secolo, per fondare il più potente stato europeo del suo tempo. [Nota. F. Barlow ritiene che tendenze feudali fossero presenti nell'età anglosassone, ma T. J. Oleson è più vicino alla verità quando dichiara che «la monarchia e la società anglosassoni avevano una più stretta somiglianza con l'antica monarchia e società merovingica, che con la Francia o la Scandinavia dell'XI secolo». Barrow afferma giustamente che Guglielmo non intendeva sovvertire le istituzioni anglosassoni quando vinse gli inglesi: egli lo fece soltanto quando si avvide che tale struttura sociale e giuridica non poteva sostenere quel regime militare, che egli considerava essenziale al suo potere. C. W. Hollister sottolinea giustamente il mantenimento, da parte di Guglielmo, della leva anglosassone e dell'usanza dei due mesi di servizio militare, a differenza dei quaranta giorni che erano divenuti consueti nel continente. Fine nota.] L'Inghilterra della fine dell'XI secolo è veramente l'esempio più tipico, nella storia europea, del disgregamento di un ordine sociale per l'improvvisa introduzione di una tecnologia militare proveniente dall'esterno. La conquista normanna è nello stesso tempo anche la rivoluzione normanna, anche se fu in fondo solo l'estendersi al di là della Manica di una rivoluzione che era stata compiuta nell'Europa continentale per gradi, durante le dieci generazioni precedenti.

Poche invenzioni sono state più semplici della staffa, ma poche hanno avuto un'influenza così grande sulla storia. Le esigenze del nuovo modo di combattere, che essa aveva reso possibile, trovarono espressione in una nuova organizzazione della società dell'Europa occidentale, dominata da un'aristocrazia di guerrieri cui erano state assegnate in beneficio le terre perché essi fossero in grado di combattere in un modo nuovo ed estremamente specializzato. Inevitabilmente questa nobiltà creò forme culturali e modi di pensiero e sentimenti in armonia con il combattimento d'urto ed il suo ruolo sociale; come ha sottolineato Denholm-Young: «È impossibile essere cavallereschi senza

cavallo.» L'uomo a cavallo, quale l'abbiamo conosciuto per un millennio, fu possibile grazie alla staffa, che unì uomo e destriero in una singola unità di combattimento: l'antichità aveva immaginato il centauro, l'alto Medioevo ne fece il signore dell'Europa.

Parte seconda

La rivoluzione agraria dell'alto Medioevo.

Dal periodo neolitico fino a circa due secoli fa l'agricoltura era il fondamento di ogni attività umana. Prima della fine del XVIII secolo non vi era probabilmente alcuna comunità sedentaria nella quale almeno i nove decimi della popolazione non fossero direttamente impegnati nella coltivazione. Governanti e uomini di chiesa, artigiani e mercanti, studiosi ed artisti costituivano un'esigua minoranza dell'umanità che viveva sulle spalle dei contadini. In queste circostanze ogni durevole mutamento del clima, della fertilità del suolo, della tecnologia o degli altri fattori che condizionano l'agricoltura avrebbe necessariamente modificato l'intera società: la popolazione, la ricchezza, i rapporti politici, il grado di benessere, e le espressioni culturali.

Ciò non è stato tuttavia sempre chiaro agli studiosi: l'origine tutta cittadina della parola «civiltà» si manifesta, meglio che in qualunque altro fenomeno, appunto nel disinteresse che gli storici hanno mostrato per l'uomo di campagna, per il suo lavoro e per la sua vita. Il contadino è sempre stato un uomo attivo e pieno di iniziativa, del tutto diverso dalla tragica caricatura di brutalità e di virtù derisa presentata nell'Uomo con la zappa di Miller e di Markham, ma di rado sapeva leggere e scrivere. [Nota. F. Martini analizza i più antichi elementi che entrano nel «tipo» moderno del contadino quali emergono dalle opere dei poeti e dei predicatori medioevali. Da un lato il contadino è ottuso, grottesco, a volte pericoloso; dall'altro è un lavoratore solerte, attaccato alle buone vecchie tradizioni, è colui che fornisce il cibo per l'umanità, ed è lodato da Dio per la sua umiltà. Quando si analizza la realtà e non i racconti della vita rurale, essa appare non meno caleidoscopica di qualsiasi altra forma di attività umana. Fine nota.] Non solo la storia, quindi, ma anche i documenti sono stati scritti in genere da gruppi sociali che consideravano il contadino ed il suo lavoro come qualcosa di ovvio. Mentre, quindi, le nostre biblioteche gemono sotto il peso dei dati

relativi al possesso della terra, vi è un'impressionante scarsità di informazioni sugli svariati, e spesso mutevoli, metodi di coltivazione, che davano un senso possedere la terra.

Abbiamo certamente sentito dire che, alla fine del XVII e nel XVIII secolo, «Turnip» Townshend ed alcuni altri coraggiosi agronomi, in Inghilterra e nell'Europa continentale, introdussero le colture di tuberi e di foraggio, riformarono l'agricoltura, e fornirono così quella eccedenza alimentare che permise di ridurre il lavoro nei campi, e di fornire la mano d'opera per le fabbriche della cosiddetta rivoluzione industriale. È tuttavia praticamente ignorato il fatto che fra il VI ed il IX secolo l'Europa settentrionale assistette ad una prima rivoluzione agraria che ebbe conseguenze altrettanto decisive nella storia.

È nella natura delle cose che noi ignoriamo e forse non. potremo mai conoscere con certezza molte cose su questi argomenti. Ad esempio, la consuetudine degli studiosi della preistoria di parlare, per una regione, di età del ferro non appena scoprono il primo frammento di ferro, può distorcere la nostra visione della realtà. Il ferro è stato per molto tempo un metallo raro e costoso, usato quasi esclusivamente per la costruzione di armi o di lame. Per quanto a Pompei si sia trovato molto ferro, l'impressione complessiva che danno i reperti è che alla fine del I secolo anche una città romana così prospera vivesse ancora piuttosto nell'età del bronzo che in quella del ferro. L'Europa settentrionale, il Norico in particolar modo, era di gran lunga più ricca di risorse di ferro del Mediterraneo. Dai ritrovamenti sembrerebbe che nel periodo romano si usasse il ferro, per parti di aratri, vanghe, falci, e simili, in maggior quantità a nord che a sud delle Alpi, per quanto si debba pensare che per il clima nordico più umido le distruzioni dovute alla corrosione siano state più numerose nel Nord.

Uno degli aspetti del rapido sviluppo dell'Europa settentrionale nel periodo carolingio fu l'apertura di nuove grandi miniere di ferro, che, presumibilmente, resero il metallo più a buon mercato, e ne favorirono quindi un più largo uso sia per impieghi civili che. militari. [Nota. La documentazione è frammentaria, ma il fatto essenziale sembra chiaro. Nell'VIII e nel IX secolo le tecniche di produzione di massa di oreficeria a basso prezzo, messe a punto nel VII secolo furono applicate nella Renania alla manifattura di grandi quantità di spade, in parte

esportate verso Oriente, dove erano molto apprezzate. Fine nota.] Il monaco di S. Gallo, che scriveva nella fine del IX secolo, ci racconta che quando nel 773 Carlomagno e il suo esercito assaltarono Pavia, capitale del regno longobardo, il re Desiderio salito sulle mura per vedere il nemico fu sopraffatto dallo spettacolo delle corazze e delle armi franche, ammassate e scintillanti: «Oh, il ferro! Ahimè il ferro» gridò, ed il capitano che stava con lui cadde svenuto. Il monaco di S. Gallo è noto per essere un romanziere piuttosto che uno storico; tuttavia l'episodio può simbolizzare, anche se non ne costituisce una testimonianza, l'effettivo passaggio dell'Europa, sotto Carlomagno, all'età del ferro.

Sebbene una prova statistica non sia possibile, gli storici dell'agricoltura sono concordi nell'affermare che il contadino medioevale usava una quantità di ferro che sarebbe apparsa inconcepibile a qualunque altra popolazione rurale precedente, e che il fabbro era divenuto indispensabile in ogni villaggio. Che cosa ciò significasse per l'aumento della produzione non lo si può dimostrare, ma lo si può immaginare.

In genere la storia degli attrezzi e degli utensili è ancora rudimentale. Si ritiene, ad esempio, che un nuovo tipo di ascia, messa a punto nel X secolo, abbia influito molto sull'ampliamento della superficie arabile che inizia in quel periodo. Ma pochi archeologi o storici possono guardare un'ascia con l'occhio di un tagliaboschi, valutando l'equilibrio della lama, e la lunghezza e l'angolo del manico in termini di lavoro: sicché la cosa rimane ancora incerta. Alcuni attrezzi, tuttavia, ed in particolar modo l'aratro, sono stati studiati minutamente.

Capitolo I

L'aratro ed il sistema delle comunità di villaggio.

Nel 1895 A. Meitzen si accorse che la forma dell'aratro prevalentemente usato in Germania, avrebbe potuto spiegare molte particolarità della disposizione dei campi e dell'agricoltura collettiva che si riscontrano spesso nei villaggi medioevali. Le ricerche condotte per una intera generazione, non solo in Germania, ma anche in Francia, Inghilterra, Scandinavia e Stati Uniti, hanno portato, nel 1931, ad una sintesi, dovuta a Marc Bloch, che è stata la più convincente, perché le sue tesi sono state garbatamente accompagnate dai dubbi, espressi non solo all'epoca di composizione del libro, ma per tutto il decennio successivo, in una serie brillante di saggi e di recensioni.

L'aratro è stata la prima applicazione di forza non umana all'agricoltura. L'aratro più antico era costituito da un grosso bastone da scavo tirato da una coppia di buoi. Questo tipo primitivo di aratro è tuttora usato ampiamente nell'area mediterranea, e nelle terre aride dell'Est, dove è abbastanza efficiente in relazione al suolo e al clima. Il suo corpo lavorante conico o triangolare non rovescia le zolle, e lascia una striscia di terra non smossa fra i solchi; è perciò necessaria l'aratura incrociata, col risultato che nelle regioni dove si usa questo aratro semplice i campi tendono ad assumere una forma pressoché quadrata; sono approssimativamente larghi quanto lunghi. L'aratura incrociata polverizza il suolo, e ciò evita, nei climi asciutti, un'evaporazione eccessiva dell'umidità, e mantiene fertili i campi perché porta per capillarità in superficie i minerali del suolo.

Questo tipo di aratro e di coltivazione non erano tuttavia molto adatti a gran parte dell'Europa settentrionale, con estati umide e terreni generalmente più pesanti. Quando l'agricoltura si diffuse a latitudini più elevate, venne inevitabilmente confinata in gran parte ad altipiani ben drenati e con terreni leggeri, sebbene questi fossero necessariamente meno produttivi delle terre basse ed alluvionali: l'aratro semplice infatti

non poteva domare questi terreni più ricchi. L'Europa settentrionale doveva quindi perfezionare una nuova tecnica agricola, e, soprattutto, un nuovo aratro.

Una delle difficoltà era che i terreni pesanti ed umidi oppongono all'aratro una resistenza tanto maggiore di quelli leggeri ed asciutti, che spesso due buoi non sono in grado di fornire una forza di trazione sufficiente. La prima testimonianza sicura sull'uso di un nuovo tipo di aratro risale alla metà del I secolo d. C., quando Plinio contrappone gli aratri leggeri trovati in Siria al fatto che «multifaram in Italia octoni boves ad singulos vomeres anhelent». Possiamo con sicurezza ritenere che si riferisse non a tutta l'Italia, ma alla valle del Po, l'unica parte dell'Italia dove, per ragioni di suolo e di clima, l'aratro pesante fu largamente usato successivamente. E probabilmente Plinio parla dello stesso tipo di aratro quando, nel paragrafo seguente, dice che: «Non pridem inventum in Raetia Galliae [ovverosia sulle colline ai piedi delle Alpi italiane] duas adderent tali rotulas, quod genus vocant plaumorati.» Parrebbe di trovarsi di fronte all'aratro pesante «medioevale» con otto buoi e con le ruote, e, se accettiamo la correzione dell'inintelligibile *plaumorati* in *ploum Raeti*, abbiamo la prima comparsa del termine non classico *plough* (aratro) (distinto da *aratrum*, aratro semplice), ed abbiamo anche un indizio che l'aratro pesante di Plinio della valle del Po è il riflesso delle grandi innovazioni che avevano luogo fra i barbari a nord delle Alpi.

Le ruote aggiunte al tipico aratro pesante lo rendono più mobile nello spostarsi da un campo all'altro, ed agevolano l'aratore nel regolare la profondità del solco, cosa molto più difficile con un aratro tirato da più coppie di buoi, che da una sola coppia. Ma, per capire perché alla fine l'aratro pesante influenzasse la vita di tutta l'Europa settentrionale, si deve comprendere come esso attacca il suolo. A differenza dell'aratro semplice, la cui punta rompe la terra buttandola da ambedue i lati, l'aratro pesante ha tre parti lavoranti: la prima è il coltro, ossia una lama pesante, posta sul bure o timone dell'aratro, che taglia verticalmente la terra; la seconda il vomere, posto ad angolo retto con il coltro, che taglia la terra orizzontalmente, all'altezza delle radici dell'erba; la terza, infine, è il versoio, che rovescia la zolla a destra o a sinistra, a seconda di come

è attaccato. È chiaro che questa è un'arma contro il suolo ben più formidabile dell'aratro semplice.

Per le esigenze dell'agricoltura dell'Europa settentrionale questo tipo di aratro aveva tre vantaggi.

In primo luogo l'aratro pesante smuoveva a tal punto le zolle da render superflua l'aratura incrociata. Ciò risparmiava lavoro al contadino, ed aumentava così la superficie che egli poteva coltivare. L'aratro pesante era una macchina agricola che sostituiva la forza animale all'energia ed al tempo dell'uomo.

In secondo luogo il nuovo aratro, eliminando l'aratura incrociata, tendeva a mutare, nell'Europa settentrionale, la forma dei campi da quadra a lunga e stretta, con una sezione trasversale leggermente arrotondata, che aveva benefici effetti di drenaggio in quel clima umido. Queste strisce erano normalmente arate in senso orario, con le zolle rovesciate a destra e all'interno; perciò, con il passar degli anni, ogni striscia divenne un piccolo dosso allungato, che assicurava il raccolto, sulla cresta, anche negli anni più umidi, e, nella depressione interna, nel solco, nelle stagioni più secche.

Il terzo vantaggio dell'aratro pesante deriva dai primi due: senza tale aratro era difficile sfruttare le compatte, ricche terre alluvionali che, se ben lavorate, avrebbero dato al contadino raccolti di gran lunga migliori di quelli ottenuti dai terreni leggeri degli altipiani. Si credeva ad esempio, che gli anglosassoni avessero introdotto il pesante aratro germanico nella Britannia celtica nel V secolo; grazie ad esso si cominciarono a distruggere le foreste sui terreni pesanti, e i campi quadrati, così detti «celtici», che per lungo tempo erano stati coltivati con l'aratro semplice, sugli altipiani, furono abbandonati, ed in genere rimangono tuttora deserti.

Il risparmio di lavoro contadino poi, unito al miglioramento del drenaggio dei campi ed alla coltivazione di terreni più fertili, tutte cose rese possibili dall'aratro pesante, contribuirono insieme ad espandere la produzione, e resero possibile quell'accumulazione di un'eccedenza di cibo che è il presupposto dell'aumento della popolazione, della specializzazione delle funzioni, dell'urbanesimo e dell'aumento del benessere.

Ma, secondo il Bloch, l'aratro pesante fece ben più che stimolare l'Europa settentrionale aumentando il livello della produttività: esso ebbe una funzione decisiva nella ristrutturazione della società rurale del Nord. Il villaggio come comunità agricola cooperativa fu, infatti, tipico non delle terre dell'area mediterranea, ma solo dell'area dove fu impiegato l'aratro pesante, e sembra vi fosse un nesso causale fra l'aratro e le comunità di villaggio.

Come abbiamo visto, questo aratro, con il coltro, il vomere ed il versoio, opponeva al suolo resistenza molto maggiore di quella dell'aratro semplice, ed aveva quindi bisogno, almeno nella forma primitiva, non di uno, ma di quattro gioghi, vale a dire, come scriveva Plinio, di otto buoi. Pochi contadini possedevano otto buoi, e se volevano usare il nuovo e ben più conveniente aratro, dovevano riunire le loro coppie. Ma tale riunione comportava una rivoluzione nella struttura del gruppo contadino. La vecchia forma quadrata del campo era inappropriata al nuovo aratro: perché potesse essere usato efficacemente, tutte le terre del villaggio dovettero essere riorganizzate in vasti «campi aperti», non recintati, ed arati in lunghe strisce. Inoltre la sola maniera pratica per distribuire queste strisce era di assegnarle in successione ai vari contadini che partecipavano del possesso dell'aratro e dei buoi che formavano l'unità cooperativa. Un contadino poteva così «possedere» e raccogliere il prodotto di cinquanta o sessanta piccole strisce sparse su tutta la superficie arabile del villaggio.

Ovviamente lotti così esigui non potevano essere condotti individualmente di modo che ciascuno seminasse quanto e quando volesse. Nacque così un potente consiglio di villaggio per appianare le dispute e per decidere in dettaglio come dovesse essere amministrato l'insieme delle terre della comunità. Queste disposizioni furono l'essenza dell'economia fondata sulle comunità di villaggio dell'Europa settentrionale, e sono comprensibili solo in funzione dell'aratro pesante. A sud della Loira e delle Alpi, dove un clima più secco incoraggiava il vecchio metodo di aratura superficiale, la struttura sociale fu molto differente, e molto più individualistica. Nel 1931 Bloch scorgeva ancora nel paesaggio della natia Francia una divisione in due regioni determinata da queste due tradizioni agricole.

Nessuno era più consapevole del Bloch delle lacune e della confusione dei documenti che stavano alla base della sua grande ipotesi, né più conscio delle difficoltà di datare esattamente le fasi dello sviluppo da lui descritto. Ed in realtà, da quando il suo libro è stato pubblicato, sono stati avanzati dubbi su quasi ogni parte della sua interpretazione; tuttavia non è stata proposta alcuna sintesi alternativa.

L'aratro si rivela uno strumento infinitamente vario, che rifiuta di essere distinto nettamente nelle due specie di aratro semplice («simmetrico») e pesante («asimmetrico»), se non altro perché l'esperienza moderna mostra che inclinando l'aratro semplice l'aratore può rovesciare la zolla, e la maggiore usura di un lato di alcuni esempi archeologici di vomeri simmetrici prova che, in effetti, ciò veniva fatto, in tempi molto antichi se non altro occasionalmente. L'aratro a ruote con otto buoi di Plinio diviene così più chiaro: sulla base di dati archeologici sappiamo ora che i romani avevano un aratro semplice a ruote, destinato presumibilmente a penetrare più in profondità, e che abbisognava quindi di una forza maggiore. Se la sua azione era sufficientemente energica, con una adeguata erpicatura l'aratura incrociata forse non sarebbe stata necessaria. Dal momento che lo strumento romano, a differenza dell'aratro a ruote medioevale, aveva un timone curvo piuttosto che diritto, lo possiamo identificare con il *currus* menzionato da Virgilio, nativo della valle del Po, nel I secolo a. C. [Nota. Dal momento che i ritrovamenti più recenti ne sono privi, A. S. F. Gow ha affermato che non si poteva trattare di un aratro con ruote. Una tale identificazione è però proposta da Servio, il grande commentatore di Virgilio, all'inizio del V secolo, quando l'aratro con ruote era in uso in quella regione. Fine nota.] Per quanto riguarda poi gli otto buoi, sembra che proprio in questo periodo l'abilità nell'attaccare gli animali due a due andasse simultaneamente aumentando in tutta l'Eurasia: un rilievo gallo-romano ora al museo di Langres mostra due coppie di cavalli attaccati una di seguito all'altra; [Nota. C. Bicknell mostra rozzi petroglifi dell'età del bronzo che sembrano rappresentare tiri da aratro di 3, 4, 5 e 6 buoi. J. G. D. Clark sottolinea come questi tiri da 3 e 5 buoi siano impossibili da un punto di vista tecnico, e ritiene che quelli che appaiono come aratri tirati da 4 o 6 tiri possano illustrare semplicemente due o tre aratri con tiri a due buoi che lavorano vicini, come in un modello di Cipro dell'età di

bronzo. Fine nota.] un mattone proveniente da Szech'uan, datato a non più tardi del II secolo, mostra un carro a quattro ruote, grande rarità per la Cina degli Han, tirato da due cavalli in tandem; ed un antico documento indiano, difficile a datarsi, dice che «questo orzo essi lo arano vigorosamente con tiri da sei o da otto». [Nota. Haudricourt e Delamarre sospettano che i passi vedici si riferiscano a più aratri operanti successivamente piuttosto che a più gioghi di un solo aratro. A. K. Y. U. Aiyer cita lo Yajur Veda: «Possa la lama appuntita tagliare il suolo e spingere la terra arata su ambo i lati del solco», frase che indica l'aratro semplice. Nonostante la credenza indiana ortodossa, che vorrebbe che i testi dei Veda siano stati trasmessi inalterati da epoca antichissima, sarebbe avventato, al punto a cui è giunta l'indianistica, accettare la tesi che ciascun passo risalga agli antichi ari. Fine nota.] Dopo la pubblicazione del libro del Bloch vi furono alcuni anni di euforia fra gli studiosi, e si credette che i rapporti fra le parti di un aratro fossero così fissi che da un frammento si potesse ricostruire l'intero aratro, così come un paleontologo ricostruisce un mastodonte da' un unico osso. Un aratro a telaio quadrangolare, trovato in una palude danese presso Tommerby, fu ricostruito con ruote, per quanto non ve ne fosse traccia; [Nota. Vi sono stati dubbi sempre maggiori sulla datazione, basata sull'analisi pollinica, di questo aratro all'inizio dell'età del ferro: esso può essere caduto o essere stato gettato nella palude per motivi sacrificali. Tuttavia G. Mildenberger accetta ancora sia le ruote che la datazione, sottolineando, tuttavia, che tutti i ritrovamenti di aratri dello Jutland provengono probabilmente da seppellimenti di offerte sacrificali. Fine nota.] e, ancora, la scoperta di coltri belgi e romani in Inghilterra accreditò immediatamente l'ipotesi che l'invasione dei belgi del 75 a. C. circa avesse introdotto l'aratro pesante a ruote, il sistema di aratura a strisce, e forse anche i campi aperti. Ma, mentre gli aratri a ruote sono certamente associati ai climi umidi, come conferma la loro diffusione nella penisola iberica ristretta alle coste portoghesi, galiziane e basche, alcuni dei più efficaci aratri pesanti, in particolare per i terreni molto umidi, non hanno ruote. Inoltre il coltro è stato applicato anche agli aratri semplici, e non implica in alcun modo un aratro pesante. E i romani montavano forse il coltro su di un telaio separato, che procedeva davanti all'aratro semplice.

E, mentre il Bloch aveva elaborato le due equazioni base: aratro semplice = campi quadrati, e coltro + vomere + versoio + ruote = strisce = campi aperti = agricoltura collettiva, risultò ben presto che non vi è nessuna correlazione precisa fra la forma dei campi ed il tipo di aratro. Per quanto dai tempi più antichi, l'aratro semplice arasse trasversalmente, a volte su terreni notevolmente compatti, arava anche campi allungati, ed anzi in uno degli esempi rimastici la lunghezza è ventidue volte la larghezza. Per quanto generalmente queste strisce siano adiacenti a campi quadrati, in Finlandia l'aratro semplice ha portato ad elaborati sistemi a strisce, come si fa attualmente in Siria ed in Sardegna, e in quest'ultimo caso con una perfetta organizzazione di campi aperti e di controllo collettivo. Nel Messico precoloniale gli indiani Nahua, che non avevano aratro, crearono un sistema di campi aperti ed allungati coltivati privatamente; ed in Olanda certi campi lunghi e stretti della prima età del ferro venivano coltivati con la zappa non con l'aratro. Per questo motivo le scarse notizie che abbiamo di coltivazioni a strisce nell'Inghilterra romana non possono servire a provare la presenza di un tipo particolare di aratro.

Dovunque le norme ereditarie permettono la divisione della terra fra gli eredi vi è una tendenza verso i campi allungati. Ed ora si è avanzata l'ipotesi, in completa opposizione con la tesi di Meitzen, che il principio dell'ereditarietà possa aver fatto nascere un aratro adatto alla coltivazione a strisce. Ne deriverebbe che non vi è dunque nessuna connessione diretta fra la coltivazione a strisce, i campi aperti e l'agricoltura collettiva. Le strisce, infatti, hanno avuto una diffusione molto maggiore dei campi aperti, e dominano in zone che non hanno mai avuto forme di coltivazione collettiva.

Così non si devono confondere le strisce con la sistemazione a colmi e solchi: in molte regioni con terreni leggeri le strisce sono state infatti lavorate con l'aratura piana. Lo scopo essenziale dei colmi e solchi era il drenaggio, e secondariamente, forse per alcuni tipi di terreno, quello di portare in superficie i minerali del suolo. [Nota. In un accurato studio locale di campi fossili W. R. Mead ha trovato che in località diverse la differenza fra colmo e solco varia da 3 piedi a pochi pollici, e che l'ampiezza delle strisce varia entro le 14 yarde: non è tuttavia riuscito a trovare una correlazione fra queste misure ed il tipo di

suolo. R. Aitken sottolinea come, presto o tardi, i contadini dovevano mutare il metodo di aratura della striscia per impedire che essa divenisse troppo alta, e che quindi i rilievi di un campo fossile danno solo la misura delle condizioni in cui esso si trovava al momento dell'abbandono. Si può tuttavia essere quasi certi che, mentre i terreni aridi non venivano in genere arati profondamente, i terreni acquosi lo erano in relazione alle esigenze di drenaggio; ad esempio in alcuni territori bassi della Scozia vi era una differenza di 3 piedi fra il colmo ed il solco di strisce larghe 30-40 piedi. Il Mortensen suggerisce come uno dei motivi del declino, nel basso Medioevo, della coltivazione a colmi e solchi possa essere stato lo sviluppo di più soddisfacenti metodi di fertilizzazione come marnare, zollare e un più largo uso del letame. Virgilio aveva raccomandato ai contadini di spargere la cenere sui campi. Sia l'avvicendamento biennale, sia quello triennale, assicurando il regolare pascolo del bestiame sul terreno arativo, aumentavano la concimazione; mentre l'aumento dei legumi coltivati nella rotazione triennale favoriva la fissazione dell'azoto nel terreno. Non esiste ancora una adeguata storia della fertilizzazione agricola. Fine nota.] Sembra che generalmente l'influenza del terreno e dell'acqua sia stata decisiva. Nella regione di Osnabrück, ad esempio, i campi più antichi occupano aree relativamente alte e asciutte, e i colmi tendono a correre nel senso del pendio per facilitare il drenaggio dell'acqua. Nella Bassa Normandia vi è una correlazione generale, sebbene non costante, fra le strisce, la coltivazione a campi aperti ed i terreni più in piano e pesanti. [Nota. Il passaggio dalle proprietà separate ai campi aperti non avviene, in Normandia, prima del XIII secolo. Fine nota.] Lo stesso tipo di aratro può dunque essere stato usato diversamente nei diversi contesti.

Sembra, dunque, che nella forma dell'aratro e nella disposizione dei campi vi siano molti elementi, nessuno dei quali è però collegato ad un altro in un rapporto costante e necessario; ma, anche se tutto può variare in relazione al clima del luogo, ai terreni, alla topografia, alle norme ereditarie, alla tradizione, al gusto ed ai capricci personali, in pratica si possono tuttavia trovare molte relazioni costanti. Studiosi come il Meitzen ed il Bloch avevano un profondo senso della realtà, ed osservavano i fenomeni nel loro insieme: nell'Europa continentale a nord della Loira e delle Alpi gli aratri pesanti erano generalmente forniti

di coltro, vomere orizzontale, versoio e ruote; le regioni che usavano tali aratri sono quasi sempre, o lo sono state fino a tempi recenti, coltivate a strisce, ed una forte percentuale dell'area coltivata a strisce era anche organizzata in campi aperti, il che comportava una conduzione collettiva. Era questa la «tipica» economia di villaggio che dalla fine del Medioevo si estendeva, con interruzioni determinate da circostanze particolari, dall'Irlanda, ad occidente, fino alla Svezia meridionale e alle regioni slave ad oriente.

Il progresso avutosi negli ultimi anni nelle ricerche di storia agraria, consiste non solo in un aumento di dati, ma anche in una maggiore cautela nella valutazione delle testimonianze. È oggi possibile tracciare lo sviluppo, la fusione in tipi di relazioni costanti, e la diffusione dei vari elementi connessi agli aratri ed alla forma dei campi? Come abbiamo visto, i romani usavano a volte, almeno nella valle del Po, tiri a più coppie ed aratri semplici con ruote. A nord delle Alpi usavano a volte il coltro, ma non sappiamo a che sorta di aratro fosse attaccato, se pure non era addirittura separato dall'aratro stesso. Di quando in quando i romani usavano un aratro con due alette simmetriche per aprire il solco, presumibilmente quando aravano per drenaggio. È inconcepibile per la mente moderna che non avessero un aratro ad una sola ala per spingere la zolla da un solo lato. Tuttavia apparentemente l'antichità non aveva nulla che somigliasse ad un versoio. Le poche tracce di quelli che possono essere campi allungati nell'Inghilterra romana sono ambigue: se furono esperimenti di una nuova tecnica agricola, essi non ebbero tuttavia diffusione, neppure in Inghilterra. In quell'isola i romani ed i celti continuarono a coltivare i terreni leggeri, evitando quelli che richiedevano maggior lavoro, ma che sarebbero stati più redditizi. Nonostante un certo fermento di idee i romani non fecero grandi progressi nella soluzione dei particolari problemi agricoli del Nord.

Nuovi importanti documenti sull'origine dell'aratro pesante ci vengono dalla filologia. Nelle lingue germaniche, celtiche e romanze la terminologia relativa all'aratro è singolarmente caotica, ma B. Bratanić, dell'Università di Zagabria, ha dimostrato che ventisei termini tecnici connessi all'aratro pesante ed ai relativi metodi di aratura (compresi i termini indicanti i modi della sistemazione a colmi e solchi) si trovano

in tutti e tre i grandi gruppi linguistici slavi: l'orientale, l'occidentale ed il meridionale. Ciò significa che l'aratro pesante ed il suo uso, sia per la coltivazione a strisce che per la sistemazione a colmi e solchi erano familiari a tutti gli slavi prima della loro separazione alla fine del VI secolo. Inoltre l'intero vocabolario è slavo, eccetto che per la parola chiave plug, cioè «plough» (ingl.: aratro). Quest'ultima appartiene al misterioso gruppo delle parole in «p» (come «path» e «penny») che, a quanto risulta, non sono di origine slava, né germanica, né celtica, né romanza. [Nota. Il tentativo di E. Werth di dimostrare che l'aratro a ruote ebbe origine nella Germania meridionale, fondandosi sul fatto che esso appare in tempi moderni ad est, ovest e nord, non approda ad alcun risultato. Fine nota.] Il Bratonic non attribuisce l'invenzione dell'aratro pesante agli slavi, ma ad «una qualche cultura contadina settentrionale» fino ad ora non identificata. Dal momento che la terminologia slava formatasi intorno alla parola plug, una volta che gli slavi ebbero l'aratro pesante, si sarà sviluppata molto rapidamente, non vi è motivo di datare il suo arrivo fra di loro molto prima che la invasione degli avari del 568 separasse gli slavi del Sud da frequenti contatti con i popoli che parlavano altre varietà della stessa famiglia linguistica.

Nei loro spostamenti tribali i goti furono in stretto contatto con gli slavi, e quando questi ultimi possedevano oggetti più evoluti, i goti, tendevano ad adottare la cosa e la parola che la designava: le mirabili spade laminate slave, ad esempio, li portarono ad adottare il termine meki per spada. Nel V secolo i goti della Transilvania possedevano il coltro, ma evidentemente lo usavano o solo, o con un aratro semplice, perché il termine gotico che designa l'aratro è hôha, connesso a «hoe» (ingl.: zappa). Quando gli angli ed i sassoni invasero in ondate successive l'Inghilterra fra il 449 ed il 584, portarono con sé solo un tipo di aratro semplice che chiamavano sulh, termine collegato al latino sulcus «solco». In zona renana, nella Lex salica del 507-11 circa, il termine carruca, che in seguito significherà «aratro a ruote» (in francese charrue), significa ancora «carro a due ruote» e non «aratro». Se rifiutiamo la discussa emendazione di plaumorati nel testo di Plinio, il termine «plough» appare per la prima volta nel 643, in Italia settentrionale, nella forma longobarda latinizzata plovum. [Nota. Date le testimonianze slave non si deve prendere sul serio la tesi di L. Franz

secondo la quale i longobardi avrebbero appreso la parola in Italia. Fine nota.] Nel 724-30 la Lex Alamannorum mostra come nella Germania sud-occidentale carruca sia venuto a designare un aratro con due ruote davanti, e all'inizio del IX secolo il nuovo significato aveva in genere, anche se non completamente, rimpiazzato l'antico, se non altro nelle regioni settentrionali del regno franco.

Al di là della Manica si è rivolta una scarsa attenzione all'origine del termine inglese «plough» (aratro), dal nordico antico plógr. Per quanto la forma anglosassone ploh non si trovi prima del 1100 circa, il termine norvegese venne probabilmente introdotto in Inghilterra durante l'invasione e lo stanziamento danese nell'Inghilterra nord-orientale fra la metà del IX e l'XI secolo. Il significato di questi fatti linguistici è stato oscurato dall'opinione che l'esistenza fra gli anglosassoni di campi aperti a strisce fosse documentata dalle leggi di re Ine del Wessex, databili al 688-94, e che tale sistema agrario rendesse necessario l'aratro pesante. [Nota. R. Trow-Smith tuttavia sottolinea come non si conosca nulla sullo sviluppo dell'agricoltura anglosassone; se ne possono solo giudicare i risultati finali: l'Inghilterra del Domesday Book, del 1086, è coltivata meglio della Britannia che i romani abbandonarono. Non siamo tuttavia in grado di giudicare esattamente quando, in questo lasso di tempo, si sia compiuto il maggiore passo avanti. Fine nota.] Tale aratro, perciò, sarebbe stato portato dai primi invasori germanici, se non addirittura dai belgi cinque secoli prima.

Ma il Kirbis ha messo in evidenza come, in primo luogo il testo rimastoci delle leggi di Ine è una nuova emanazione di Alfredo il Grande (871-901), e quindi, per alcuni aspetti presumibilmente, antedatato; in secondo luogo che la versione alfrediana delle leggi di Ine non menziona campi aperti o agricoltura comunitaria di villaggio, ma solo strisce e pascoli comuni. Vi sono anche alcune testimonianze sul fatto che i campi dei primi germani insediati in Inghilterra erano disposti a strisce, ma abbiamo visto che le strisce possono essere coltivate anche da un aratro semplice. I campi aperti non sono sicuramente documentati fra gli anglosassoni prima del X secolo. [Nota. Gray elenca i documenti nei quali sono contenute indicazioni di campi aperti: il primo risale al 904, il secondo al 953; ed in seguito ricorrono frequentemente. Fine nota.] Intorno al 945 le leggi gallesi di Hywel

Dda, parlano chiaramente dell'aratro pesante e di aratura a strisce di campi aperti sotto controllo collettivo [Nota. Mentre in molte zone questo sistema di distribuzione ha finito per cadere in disuso, e i singoli acquistarono titoli permanenti di proprietà su strisce ben precise, in tempi anteriori esso era apparentemente molto diffuso giacché, come sottolinea Trow-Smith, anche documenti tardi mostrano che la struttura della proprietà in un campo è spesso ripetuta: «le terre di B si trovano sempre fra quelle di A e di C». Nel 1682, nella contea di Westmeath, in Irlanda, le strisce venivano ancora assegnate in base ai contributi dei singoli individui al tiro dell'aratro. Fine nota.]: ciascun tiro di aratro deve arare strisce per almeno dodici acri prima di smettere, assegnando una striscia ciascuno all'aratore, al conduttore, al proprietario delle lame dell'aratro, al proprietario del telaio, e a ciascun proprietario degli otto buoi. Dal momento che i danesi invasori portarono con sé un aratro così particolare che gli anglosassoni si sentirono costretti ad adottare il nome da una lingua straniera, non vi è alcun motivo per ritenere che sia essi che i gallesi tardassero ad adottare l'oggetto stesso in aree dove avrebbe potuto essere utilizzato con profitto.

Anche altri documenti confermano che ai danesi è da attribuire l'introduzione in Inghilterra dell'aratro pesante completo in tutte le sue parti. A giudicare da Beda e dagli altri scrittori antichi della Northumbria, gli anglosassoni distribuivano le terre in unità di «hide», cioè la superficie sufficiente a mantenere una famiglia: «terra unius familiae». In Scandinavia, sotto l'influenza dell'aratro pesante ad otto buoi, si diffuse un tipo diverso di divisione della terra: l'unità base era il bol, diviso in otto attingar, e la tipica proprietà contadina sembra essere stata la mark o due attingar, l'equivalente di una coppia di buoi. Nessun testo menziona il bol prima del 1085 ma, dal momento che se ne trovano tracce in comunità scandinave insediate in Normandia intorno al 900, esso deve risalire all'epoca vichinga. [Nota. D. Hannerberg mostra come, analogamente a tutte le altre misure fondiari di tale tipo, il bol finì per perdere ogni rapporto con la sua funzione originaria: a causa della variazione dell'ell da 1,5 a 2 piedi, il bol divenne di 6 e non più di 8 attingar. Fine nota.] Nel 1936 l'Homans ha messo in evidenza come, mentre la terminologia danese non s'incontra in Inghilterra, le regioni più soggette all'insediamento ed all'influenza danese mostrano

un sistema di divisione terriera in completa opposizione al tradizionale sistema anglosassone ad «hide», ma esattamente corrispondente al bol ed attingar, ora chiamati «ploughland» e «oxgang», e conclude che ciò si può spiegare solo come importazione danese. Nel 1066 i conquistatori normanni riconobbero un sistema di divisione terriera a loro familiare in Normandia, e spontaneamente applicarono il termine latinizzato «carrucate» all'unità base, che era divisa in otto «bovates», e queste «bovates» erano in genere raggruppate a coppie, e formavano quattro «virgates» per ciascuna carrucata. Dal momento che la particolare forma di divisione terriera, in contrasto con la divisione in «hide», dipende tecnologicamente dall'aratro ad otto buoi che lavora nei campi aperti di un'agricoltura a conduzione collettiva, dobbiamo concludere che il plógr fu, in effetti, una novità introdotta dagli invasori danesi tra la fine del IX e l'inizio del X secolo. Probabilmente il nuovo aratro si diffuse con rapidità in zone dove si continuò ad usare l'antica divisione terriera, nonostante la nuova tecnica agraria. Significativo delle preferenze dei contadini è il fatto che, quando all'inizio del XII secolo, dopo la terribile distruzione del 1069, lo Yorkshire fu ricolonizzato, come unità comuni di possesso piuttosto che l'«hide», furono usate le «bovates» e le «virgates» della Danelaw.

Che cosa sappiamo dunque sull'origine dell'aratro pesante? Esso è giunto agli slavi da fonte sconosciuta, ma sembra che essi ancora non lo possedessero all'inizio del V secolo, quando erano ancora in contatto con i goti. Lo avevano tuttavia già ricevuto verso la fine del VI secolo, e ne avevano già sfruttato in pieno le implicazioni per l'aratura: non solo il sistema a strisce, ma anche la sistemazione a colmi e solchi. Vi è motivo di credere che una tale evoluzione dovesse aver luogo molto rapidamente in un ambiente favorevole. Non si può quindi scendere, per la datazione dell'aratro pesante, al di là dell'inizio del VI secolo.

Analizzando la sua diffusione dobbiamo riconoscere che, sebbene l'aumento della produttività che esso rendeva possibile avrebbe fatto rapidamente aumentare la popolazione, esso poteva tuttavia essere adoperato solo in aree già relativamente dense. [Nota. La scarsità della popolazione nelle foreste della Polonia e nelle pianure dell'Ungheria può essere spiegata con il fatto che l'agricoltura dell'aratro non prosperava ancora nel IX secolo in Polonia, mentre non vi sono

documenti su aratri pesanti in Ungheria prima dell'XI secolo. Fine nota.] Era infatti di fabbricazione e d'uso costosi; [Nota. Il fatto che nessuna raffigurazione medioevale mostri un aratro trainato da più di quattro buoi ha indotto alcuni studiosi a considerare l'aratro ad otto buoi una invenzione. Considerato, tuttavia, il fatto che spesso gli aratri venivano trainati da tiri più o meno numerosi, e inoltre la diffusa divisione dell'unità di terreno arato in otto parti, e la curva ad S inversa che si incontra in tante strisce, che è poco comprensibile con un numero di coppie minore di 4, tutto ciò fa ritenere che probabilmente l'aratro ad otto buoi era comune nel primo periodo di diffusione dell'aratro pesante. Fine nota.] una famiglia isolata non avrebbe potuto utilizzarlo, un piccolo gruppo di famiglie - da quattro a dieci - avrebbe trovato difficile organizzare un sistema siffatto. Il nuovo tipo di aratro avrebbe potuto essere utilizzato solo in aree dove esistessero già dei villaggi, ed anche qui vi sarebbero stati forti ostacoli psicologici: per il suo uso il nuovo aratro richiedeva campi aperti e per crearli era necessario abolire tutti i precedenti diritti di proprietà su unità definite o strisce.

Recentemente geografi storici tedeschi hanno concluso che forse già verso la fine del VI secolo, o senza dubbio nel VII, nella Germania sud-occidentale e nella regione del Reno ebbe inizio un notevole incremento della popolazione, del disboscamento e della colonizzazione, che si diffuse rapidamente in altre regioni; espansione che sembra connessa all'aumento dei campi aperti. Per una certa zona, la popolazione alla fine del VII secolo è stata valutata superiore di quattro volte a quella esistente sotto l'impero romano. L'evoluzione già notata del significato del termine carruca, che avviene intorno a questo periodo nella valle del Reno, indica che l'aratro pesante era un fattore essenziale in questo processo di sviluppo, ed esso ha molta importanza per chi voglia spiegare l'esplosiva vitalità del regno carolingio dell'VIII secolo. Per quanto non si possa ancora datare l'arrivo del nuovo aratro in Scandinavia, si può supporre che il suo effetto sulla popolazione si possa vedere nelle migrazioni vichinghe iniziate intorno all'800. In tutti i casi gli uomini del Nord portarono con sé l'aratro pesante ed i metodi di divisione terriera ad esso più idonei quando, alla fine del IX secolo, si stabilirono nella Danelaw in Inghilterra, ed in seguito in Normandia.

Per quanto i campi a strisce fossero senza dubbio comuni anche prima dell'aratro pesante, è improbabile che aratri più leggeri dessero normalmente ai campi la sistemazione a colmi e solchi, caratteristica, nei terreni che richiedono drenaggio, del nuovo tipo di coltivazione. Certo, se si potessero datare archeologicamente le tracce fossili di campi a colmi e solchi, la nostra conoscenza sulla diffusione dell'aratro sarebbe resa più agevole. [Nota. In questo settore si sono fatti pochi progressi dopo la classica opera di C. Frank, *Die Hochacker*, Kaufbeuren 1912, che ha mostrato che tutte le coltivazioni a colmi e solchi della Baviera sono post-romane. Fine nota.] In particolare sarebbe utile la datazione di qualsiasi striscia leggermente curvata ad S, perché tale curva veniva prodotta dalla manovra di grandi tiri di aratro in prossimità della fine del campo. [Nota. F. Imberdis presenta un problema completamente diverso: i campi nella regione di Langres hanno confini curvati irregolarmente, privi di alcuna spiegazione in termini di topografia, condizioni del suolo o tecniche di aratura. Fine nota.] Se esse fossero diffuse in tutta l'Europa settentrionale, i metodi degli storici locali inglesi ci potrebbero insegnare molto sull'esatta diffusione dei campi aperti, e perché in alcune regioni questo sistema non sia stato usato.

Ma, come mostra l'esempio della Sardegna, l'aratro pesante può non essere stato l'unica causa della creazione di campi aperti. E in effetti in agricoltura vi sono di solito almeno due motivi per fare qualche cosa. Una delle funzioni principali del sistema a campi aperti era la possibilità di incrementare l'allevamento del bestiame e nello stesso tempo mettere il massimo della terra arabile a grano. Anche dopo la migrazione in Gallia, i franchi continuarono a preferire la pastorizia all'agricoltura. Finché vi fu una popolazione esigua rispetto alla terra disponibile, non vi fu una grande concorrenza fra i due regimi: gli animali pascolavano permanentemente. Ma con l'aumento della popolazione la superficie a coltura si diffuse a spese delle foreste, delle paludi e dei prati. [Nota. Per far fronte alla necessità di foraggio per il bestiame fu messa a punto la falce lunga. A. A. Steensberg mostra che (forse perché un peggioramento del clima rese necessario tenere il bestiame nelle stalle per un periodo più lungo) le falci a manico lungo cominciarono ad essere impiegate nell'Europa settentrionale in epoca romana per la

raccolta del fieno: la mietitura veniva invece effettuata con falchetti. Intorno al IX secolo le falci lunghe cominciarono a divenire più comuni, e la loro efficienza venne aumentata dall'aggiunta di prese laterali lungo il manico. A. Timm collega la diffusione della falce lunga con la pressione demografica nell'alto Medioevo, con il diboscamento e con l'aumento del bestiame allevato nelle stalle. Carlomagno mutò il nome di luglio in Hewimanoth o «mese della fienagione» ed in un calendario illustrato anteriore all'830 esso è personificato con una falce, mentre agosto, «il mese della mietitura», porta un falchetto. Data l'ambiguità della documentazione romana sulla falce a manico lungo, la sua assenza dall'area bizantina e la totale assenza di esempi merovingia sono elementi importanti per giudicare la sua diffusione, J. Le Gall si domanda se essa era conosciuta, a sud della penisola scandinava, prima del IX secolo. Fine nota.] Finché ciascun contadino coltivava i propri campi a suo piacimento, questi non potevano essere utilizzati per il pascolo durante il maggese senza grandi spese per ripari, recinzioni o per mandriani. Il sistema a campi aperti, concentrando in un dato momento la coltura in uno o due grandi campi, rendeva disponibile l'intera superficie del maggese per il pascolo, e nello stesso tempo dava il massimo della protezione al raccolto contro il bestiame. Inoltre ciò garantiva che il letame non fosse disperso nel pascolo brado, ma fosse depositato sul terreno che sarebbe stato arato l'anno successivo. [Nota. H. Mortensen sottolinea i numerosi vantaggi di riunire sotto controllo collettivo le diverse forze individuali nella conduzione dell'aratro pesante e di campi comuni. Fine nota.] Come si è già rilevato, questo sistema equilibrato di allevamento e coltura arativa legato all'aratro pesante, si sviluppò, a quanto sembra, in un sistema normale ed accettato durante il VII secolo nel cuore dei territori franchi. E questo ci aiuta a spiegare la relativa prosperità ed il vigore dell'età carolingia.

Inoltre l'aratro pesante e la divisione delle terre in campi allungati ed aperti che ne deriva, contribuirono all'evoluzione dell'atteggiamento del contadino nordico, e quindi anche del nostro, nei confronti della natura. Da tempo immemorabile la terra era stata tenuta dai contadini in lotti sufficientemente grandi, almeno in teoria, da mantenere una famiglia. Per quanto la maggior parte delle famiglie pagasse un affitto, generalmente in prodotti o servizi, il presupposto era un'agricoltura di

pura sussistenza. Nell'Europa settentrionale, e lì soltanto, l'aratro pesante mutò il criterio di divisione della terra: i contadini possedevano ora strisce di terra in proporzione, almeno teorica, al loro contributo al tiro dell'aratro. Non furono più i bisogni della famiglia, ma la capacità di lavoro di una macchina, che determinarono la distribuzione della terra. Non è possibile immaginare trasformazione più profonda nell'idea del rapporto dell'uomo con la terra: un tempo l'uomo faceva parte della natura, ora egli la sfrutta.

Questa nuova concezione si manifesta non solo nel tentativo compiuto da Carlomagno di ribattezzare i mesi dell'anno in base alle attività umane - giugno diviene il «mese dell'aratura», luglio il «mese della fienagione», agosto il «mese del raccolto» - ma più precisamente nel mutamento dei calendari illustrati iniziatosi poco prima dell'830. I vecchi calendari romani mostravano di quando in quando scene di genere, ma la tradizione dominante (che continuò a Bisanzio) era quella di raffigurare i mesi come personificazioni «passive» con i simboli dei loro attributi. I nuovi calendari carolingi, che furono di modello per tutto il Medioevo, sono molto differenti: mostrano un atteggiamento attivo nei confronti della natura. La loro origine è decisamente nordica: l'olivo, che dominava in quelli romani, scompare. Vi si vedono invece uomini che arano, mietono, tagliano la legna, bacchiano ghiande per i maiali, ammazzano il maiale. La natura e l'uomo sono ora due cose distinte, e l'uomo è il signore della natura.

Capitolo II

Il cavallo come animale da lavoro.

La diffusa applicazione dell'aratro pesante nell'Europa settentrionale fu solo il primo fattore di rilievo nella rivoluzione agraria dell'alto Medioevo; il secondo fu il perfezionamento di una bardatura che, insieme alla ferratura, avrebbe grandemente sviluppato le possibilità economiche e militari d'impiego del cavallo.

In uno sfruttamento prolungato, un animale da tiro dura quanto durano i suoi zoccoli. Gli zoccoli del bue sembrano meno soggetti a fratture che non quelli del cavallo e del mulo. Gli zoccoli del cavallo sembrano particolarmente sensibili all'umidità: si dice che, mentre sui terreni asciutti, come in Spagna, i loro zoccoli sono tanto resistenti che essi possono galoppare non ferrati su terreni rocciosi, nell'Europa settentrionale lo zoccolo diviene molle, si logora rapidamente e si danneggia con facilità. Indietreggiando di fronte alla spaventosa bibliografia sui ferri da cavallo, che egli aveva raccolto, il più dotto archeologo dell'alto Medioevo, Dom Henri Leclercq, cedette le armi, osservando: «En ce qui regarde la ferrure des chevaux, nous laissons ce sujet à ceux qui ont des loisirs.» [Nota. G. Carnot passa in rassegna la documentazione antica, e non lo convincono esempi anteriori al IX-X secolo. Da allora M. Hell difende una datazione antica, mentre L. Armand-Caillat, P. Lebel, F. Franz e M. U. Kasperek sono concordi su una datazione al IX-X secolo. Fine nota.] Non vi sono attualmente esempi sicuri di ferri da cavallo anteriori alla fine del IX secolo. L'affermazione più autorevole del contrario è quella di Sir Mortimer Wheeler, il quale sostiene di aver scavato a Maiden Castle ferri da cavallo «chiaramente stratificati... incontestabilmente della fine del IV o dell'inizio del V secolo». È permesso dubitarne. Fra tutti gli oggetti archeologici la stratificazione dei ferri da cavallo è quella che ci deve far procedere con più cautela: il cavallo che abbia posato una zampa sulla tana di un roditore può facilmente perdere un ferro, che l'abitante

della tana può portare anche più a fondo: i cavalli che affondano nel fango perdono spesso i ferri a due o tre piedi dalla superficie. In tali circostanze i risultati di uno scavo devono essere sottoposti ad un controllo in base ad informazioni derivanti da altre fonti.

Non vi sono testimonianze letterarie che greci, romani o franchi avessero i ferri da cavallo: gli oggetti ad essi più simili erano gli ipposandali e le soleae, attaccati con corregge o corde, ed usati per ornamento o per favorire la guarigione di uno zoccolo rotto. Dal momento che la veterinaria dei cavalli era di grande importanza per gli scrittori militari, la mancata menzione da parte loro dei ferri ha un valore maggiore che non abbiano per lo più gli argomenti e silenzio. Inoltre non vi è alcuna rappresentazione antica o altomedioevale di ferri da cavallo: la famosa statuetta di Carlomagno a cavallo, ora al museo di Carnevalet, può essere contemporanea, ma il cavallo con i ferri chiodati è probabilmente una ricostruzione del 1507. E certamente la cavalleria non era ferrata nell'873, quando un freddo improvviso congelò il fango delle strade in Aquitania, e rovinò gli zoccoli dei cavalli.

Per quanto riguarda l'archeologia, molti popoli pagani seppellivano i cavalli con i loro padroni, tuttavia in un ampio esame di tali tombe di cavalieri in Europa, ho trovato un solo oggetto che si ritenga essere un ferro di cavallo, un «Hufeisenstück mit Nagel», proveniente dalla tomba I di Pfahlheim, probabilmente del VII secolo. Ma vien fatto di chiedersi innanzi tutto se sia esatta l'identificazione del frammento, in secondo luogo dove siano gli altri tre ferri, ed in terzo luogo se non possa essere avvenuto che un cavallo medioevale l'abbia perduto affondando una zampa lì dentro.

Il primo esempio sicuro di ferri da cavallo proviene dalle tombe dei cavalieri nomadi della regione dello Jenissei, in Siberia, che risalgono al IX/X secolo. Contemporaneamente i ferri da cavallo vengono menzionati nella *Tactica*, opera bizantina dell'imperatore Leone VI, che regnò dall'886 al 911. In occidente sentiamo probabilmente per la prima volta il suono degli zoccoli ferrati nell'ultimo decennio del IX secolo, quando il Waltharius di Eccheardo dice «ferrata sonum daret ungula equorum». Nel 973 Gerardo nei *Miracula Sancti Oudalrici* parla di ferri chiodati come di cosa abituale per coloro che compivano lunghi viaggi. Nel 1038 Bonifacio di Toscana

ostentava la sua condizione usando chiodi d'argento per i ferri del suo cavallo. Verso la fine dell'XI secolo dovevano essere molto comuni, perché, sotto Edoardo il Confessore (m. 1066), sei fabbri a Hereford ne producevano ciascuno annualmente 120, con il ferro del re, come parte delle loro tasse. [Nota. Anche se compilato un secolo più tardi, questo documento registra le prestazioni esistenti sotto Edoardo II. Fine nota.] Inoltre ferri chiaramente chiodati appaiono in almeno una miniatura della metà dell'XI secolo. Possiamo quindi ritenere con certezza che nell'XI secolo i vantaggi della ferratura erano evidenti sia al contadino che al signore, e che i contadini potevano disporre del metallo per fabbricarli.

Ma anche un cavallo ferrato è di scarsa utilità per arare o tirare, se non è attaccato in modo che la sua forza di trazione possa essere utilizzata. Grazie agli studi di Richard Lefebvre des Noëttes sappiamo ora che nell'antichità i cavalli si attaccavano in una maniera straordinariamente inefficiente. Il giogo, che ben si adattava ai buoi, era applicato anche ai cavalli in modo tale che dai due estremi del giogo partivano due cinghie che circondavano la pancia e il collo dell'animale. [Nota. La tarda antichità ha visto, tuttavia, un progresso con l'invenzione del giogo da corna, il primo esempio del quale proviene dall'Irlanda, ma non è esattamente databile. Fine nota.] Ne derivava che, non appena il cavallo cominciava a tirare, la cinghia del collo premeva sulla vena iugulare e sulla trachea, e tendeva a soffocarlo e ad impedire il flusso di sangue alla testa. Inoltre il punto di trazione risultava in tal modo al garrese: troppo alto, da un punto di vista meccanico, per ottenere il massimo effetto. Al contrario il tipo moderno di bardatura consiste in un collare rigido imbottito, che posa sulla spalla, in modo da permettere una libera respirazione e circolazione del sangue. Al collare è attaccato il carico o per mezzo di tirelle laterali, o con stanghe, in modo che il cavallo possa sfruttare tutto il suo peso per tirare. Lefebvre des Noëttes ha provato sperimentalmente che una coppia di cavalli con una bardatura a giogo può tirare solo 1000 libbre circa, mentre con una bardatura a collare la stessa coppia può tirare quattro o cinque volte tanto. [Nota. *L'attelage et le cheval de selle à travers les ages*, Paris 1931, mostra che una coppia di cavalli o di muli, che dovrebbe tirare da 1980 a 2480 kg, può tirare solo 492 kg circa con una bardatura antica.

A. P. Usher, *History of Mechanical inventions*, Cambridge, Mass., 1954, conclude, sulla base di tabelle della fine del secolo scorso relative al lavoro che ci si aspettava che compissero in genere gli animali, che «l'efficienza netta degli animali bardati non era, nell'antichità, superiore ad un terzo di quella che ci si attenderebbe oggi». Egli aggiunge, tuttavia, che «i valori delle tabelle moderne sono considerevolmente bassi», e che l'affermazione «che nell'antichità gli animali raggiungevano solo un terzo della resa che si attende oggi in realtà è approssimata più per difetto che per eccesso». Possiamo dunque accettare le stime di Lefebvre des Noëttes come piuttosto vicine alla realtà. A. Burford sottolinea l'inadeguatezza della bardatura da cavallo dell'antichità, ma mette correttamente in rilievo il fatto che, nonostante questa relativa inefficienza, gli antichi raggiungevano grandi risultati impiegando i buoi. Fine nota.] Ovviamente, finché non fu disponibile la bardatura moderna, i contadini per arare, per erpicare e per trainare carichi pesanti non potevano utilizzare, al posto dei lenti buoi, i ben più rapidi cavalli.

Lefebvre des Noëttes ha esaminato numerosi tentativi romani, della Cina degli Han, e bizantini per eliminare lo svantaggio della bardatura a giogo, modificando la cinghia pettorale, che aveva il difetto di premere violentemente, a volte anche combinandola con stanghe laterali. Fra i ritrovamenti più recenti di particolare importanza sono una fibula romana di bronzo, probabilmente del III secolo, proveniente da Colonia, a forma di giogo da garrese per un solo animale, attaccato a stanghe, ed un piccolo giogo da garrese, del II o III secolo, scoperto a Pforzheim, egualmente da usarsi con stanghe. Inoltre un mosaico tardoromano di Ostia mostra un mulo cui sono attaccate due stanghe con qualche cosa che sembra essere un collare rigido, sebbene poggi alto sul collo. [Nota. Due rappresentazioni superstiti della fine del II secolo o dell'inizio del III mostrano una trebbiatrice celtica spinta da un cavallo, od un mulo, fra due stanghe, ma la bardatura non può essere giudicata in dettaglio. Fine nota.] Che tali esperimenti di bardatura venissero gradualmente perfezionati è mostrato da un arazzo della prima metà del IX secolo, trovato sulla nave di Oseberg presso Oslo, che mostra cavalli bardati con un solo piccolo giogo da garrese, una cinghia pettorale, e tirelle laterali che partono dal punto in cui la cinghia si

unisce al giogo. Potremmo così essere certi che la bardatura moderna sia il prodotto di un lento sviluppo in Occidente, se non fosse per alcune testimonianze filologiche, pubblicate in maniera ancora insufficiente per essere giudicate, secondo le quali il termine inglese hames ed il tedesco Kommut sono di origine turca ed implicano necessariamente una diffusione dall'Asia centrale. [Nota. A. G. Haudricourt corregge l'opinione espressa in *De l'origine de l'attelage moderne* che hames e Kommut fossero di origine mongola, e dichiara che provengono dal turco qom, qomit. Ma W. Jacobeit fa discendere questi termini da radici indoeuropee. La pretesa di J. Needham, accettata da Lu Gwei-djen, che una pittura del 477-99 d.C. circa, delle grotte dei «mille Buddha, presso Tunhuang, nel Kansu, implichi una bardatura moderna non è sufficientemente documentata: il cavallo è equipaggiato con un giogo da garrese, o con una cinghia fra le stanghe, e una cinghia che gira intorno al collo, in alto, senza alcuna connessione con la trazione. Questa bardatura è senza dubbio molto meno «moderna» di quella del mosaico di Ostia. Documentazioni non ambigue di bardature moderne in Cina non si incontrano prima dell'851 d. C. Fine nota.] Si sostiene inoltre che, mentre il pettorale fu ricevuto, tramite i germani, dagli slavi prima della grande diaspora del VI secolo, il collare da cavallo (ed il suo nome turco) fu importato dai germani nell'VIII/IX secolo. [Nota. Un tipo rudimentale di collare da cavallo, sull'analogia delle bardature delle renne siberiane, che comporta piastre ossee o di corno a forma di T con un buco a ciascuna delle estremità, è stato ricostruito da L. Gyula. Tali collari si trovano nell'Ungheria e nella Boemia del VII-IX secolo, nell'Ucraina del IX-X secolo, e nella Polonia del X-XI. Fine nota.] Quest'ultima data si accorda bene con altre nuove testimonianze. Mentre Lefebvre des Noëttes indicava tre miniature franche dell'inizio del X secolo come il primo esempio del nuovo collare, ve ne è una, anteriore di un secolo, nella *Apocalisse* di Treviri, miniata nel cuore del regno franco intorno all'anno 800. Supporti metallici per collari da cavallo sono stati trovati in Svezia, in tombe della metà e della fine del IX secolo. Fuori della Scandinavia non si sono avuti ritrovamenti paragonabili a questi. Gli oggetti, provenienti da tombe longobarde italiane, ed identificati come supporti di un collare di cavallo da N. F. Aberg, sono, più probabilmente, ornamenti degli arcioni. Sempre alla

fine del IX secolo Alfredo il Grande rileva, con evidente sorpresa, che lungo le coste settentrionali della Norvegia i cavalli venivano usati per arare. Quale vantaggio aveva il contadino nell'usare il cavallo invece del bue per i lavori agricoli? Gli studi condotti dagli agronomi moderni sui vantaggi specifici del cavallo e del bue possono fuorviarci un poco, perché i loro esperimenti non sono stati fatti con cavalli e buoi medioevali. Per quanto non lo si possa ancora provare, è probabile che dall'VIII secolo in poi, il crescente peso delle armature avesse determinato, da parte dei cavalieri, una richiesta di cavalli più robusti, e che questi fossero allevati sistematicamente, prima che si sviluppasse un allevamento selettivo del bestiame in genere. [Nota. Non ho trovato testimonianza di allevamenti selettivi, destinati specificatamente ai cavalieri anteriori al 1341, quando a Milano il contemporaneo Gualvaneo de la Fiamma ricorda che «equos emissarios equabus magnis commiscuerunt, et procreati sunt in nostro territorio dextrarii nobiles, qui in magno pretio habentur. Item canes Alanos altae staturae, et mirabilis fortitudinis nutrire studuerunt». Fine nota.] Sebbene vi fosse grande differenza fra il destriero del barone ed il cavallo da lavoro del contadino, incroci occasionali avrebbero ben presto migliorato il cavallo da lavoro. In ogni caso si può affermare con sicurezza che rispetto ai cavalli, nel Medioevo i bovini erano più deboli di quanto non siano oggi. Dobbiamo dunque concludere che qualsiasi vantaggio emerga oggi nell'impiego del cavallo in agricoltura deve essere aumentato se riportato al periodo medioevale.

Esperimenti moderni mostrano che, se il cavallo ed il bue hanno approssimativamente la stessa capacità di tiro, il cavallo si muove tanto più rapidamente, da produrre un lavoro superiore del 50 per cento. Il cavallo ha inoltre una maggiore resistenza, e può lavorare una o due ore al giorno più del bue. La maggiore velocità e resistenza del cavallo sono particolarmente importanti nel clima incostante dell'Europa settentrionale, dove il successo di una semina può dipendere dall'aver arato e seminato in condizioni favorevoli. Inoltre la velocità del cavallo facilitava l'erpicazione, che era ben più importante nel nord che nell'area mediterranea, dove l'aratura incrociata riusciva a frantumare bene le zolle. Sono questi elementi che rendono sospetto il calcolo dei costi compiuto dagli scrittori agricoli del XIII secolo, come Walter of Henley,

che preferiscono il bue come animale da aratro in base al fatto che il cavallo consuma molto più di un bue, e che mentre un cavallo vecchio vale solo la sua pelle, un vecchio bue può essere ingrassato e venduto al macellaio. Gli agronomi moderni, pur sapendo bene che il rapido deprezzamento di un cavallo tende a controbilanciare la sua efficienza lavorativa, hanno tuttavia calcolato che il bue è, per giornata lavorativa, del trenta per cento più costoso del cavallo. Ciò che i contadini medioevali pensassero in materia è indicato dal fatto che, nel XII secolo, lungo le coste slave ad est della Germania, le misurazioni della terra arabile venivano fatte in base a quanto poteva arare una coppia di buoi, o un cavallo: un vantaggio, quindi, del cento per cento al cavallo. [Nota. J. Matuszewski afferma che nella Polonia del XII secolo un cavallo da lavoro costava quanto due buoi. Fine nota.] Considerando la testimonianza norvegese della fine del IX secolo, è strano che non si posseggano figurazioni di cavalli che lavorano i campi fino a 200 o più anni dopo, quando ne appaiono due: sul bordo dell'Arazzo di Bayeux, eseguito probabilmente nel Kent, intorno al 1077-82, 118 è raffigurato un cavallo che tira un erpice, ed una mula attaccata ad un aratro a ruote; mentre dell'inizio del XII secolo è l'arazzo dell'Apocalisse, ora alla cattedrale di Gerona, ma con influenze nordiche, il quale rappresenta il mese di aprile con un tiro di cavalli che compiono l'aratura primaverile con un aratro a ruote.

Tuttavia verso la fine dell'XI secolo il cavallo da aratro doveva essere divenuto frequente nelle pianure dell'Europa settentrionale: nel 1095, infatti, Urbano II, al concilio di Clermont, che diede inizio alla prima crociata, pose sotto la protezione della pace di Dio «i buoi ed i cavalli da aratro (*equi arantes*) e gli uomini che guidano gli aratri e gli erpici, ed i cavalli con i quali erpicano (*equi de quibus hercant*)». Sfortunatamente C. Parain, nella *Cambridge Economic History*, ha confuso le cose, ed ha condotto fuori strada N. E. Lee e R. Trow-Smith. Parain sostiene che nella *Lex salica* i cavalli tirano gli aratri, trascurando il significato di carruca contenuto in quel testo, come notato sopra, nota 50. Asserisce quindi che, dal momento che nella seconda metà dell'XI secolo «Jean de Garlande» nomina collari da cavalli (*epiphia equina*), «probabilmente i cavalli venivano già usati per la lavorazione del terreno nella regione di Parigi». È probabile che ciò avvenisse, ma non

ne è questa la prova: Parain ha confuso un abachista borgognone della fine dell'XI secolo con il famoso lessicografo inglese dell'inizio del XIII. Infine, in una conversazione registrata nei pressi di Kiev nel 1103, si dice che nell'Ucraina i contadini compivano tutto il lavoro di aratura con i cavalli, che è forse la chiave per spiegare la precocità della cultura della regione di Kiev in quel periodo. La Chronicle è stata completata intorno al 1113. Il primo riferimento russo a collari da cavallo appare in lettere del XII secolo, scritte su corteccia di betulla, trovate a Novgorod.

Quando il mondo degli studiosi avrà compreso che la diffusa sostituzione dei buoi con i cavalli segnò un momento determinante nell'applicazione del lavoro nell'agricoltura, l'esame dei documenti locali ci metterà in grado di sapere con quale rapidità, ed esattamente in quali regioni, ebbe luogo il mutamento. Lo stato degli archivi inglesi, ad esempio, è tale che ne dovrebbero emergere molte notizie, anche se fino ad ora sappiamo poco. Sia o no esatta l'attribuzione dell'Arazzo di Bayeux al Kent, l'arazzo stesso dimostra che gli anglo-normanni avevano familiarità con l'impiego del cavallo nell'agricoltura. Tuttavia nel Domesday Book del 1086 non vi è cenno a cavalli da aratro: gli impiegati dello scacchiere di Guglielmo il Conquistatore parlano con una uniformità un po' sospetta di aratri ad otto buoi; ma il modo in cui arrotondano le frazioni indica che usavano l'aratro ad otto buoi piuttosto come misura astratta del valore della terra tassabile. Un esame attento mostra che nel 1086 gli aratri inglesi erano tirati spesso da un numero maggiore o minore di buoi, probabilmente a seconda della prosperità delle singole proprietà o delle variazioni del suolo o della topografia. Nel Liber niger di Peterborough, del 1125 circa, Trow-Smith ha trovato un cavallo che erpica, ma non uno che ara. Nel 1167 un fondo regio della contea di Oxford fu rifornito di quarantotto buoi per sei tiri di aratro, e cinque cavalli che sembrano destinati a carri ed erpici piuttosto che ad aratri. Tuttavia una descrizione, di non molti anni dopo, del mercato di cavalli, che si teneva il venerdì a Smithfield, fuori delle porte di Londra, parla di cavalli «per carro, carretto ed aratro». Sia nell'elenco dei beni di Durham del 1183 che nell'inchiesta dei Templari del 1185 troviamo solo cavalli all'erpice; ma intorno al 1191 scopriamo l'abate Samson di Bury St. Edmunds che concede delle terre dotate in un caso di un aratro con due buoi e tre cavalli (uno dei quali probabilmente per

erpicare), e in un altro caso con un tiro di sei buoi e due cavalli, infine un'altra terra dotata di altri due tiri analoghi e di un terzo tiro da aratro di otto cavalli. Dalla descrizione della fine del XII secolo delle ventitré terre dell'abbazia di Ramsey dalla quale si può valutare la natura dei tiri da aratro, in nove casi si usavano solo buoi, mentre negli altri quattordici si usavano tiri misti.

Queste sono notizie sparse, alle quali se ne aggiungeranno senza dubbio molte altre con il passare del tempo. Ma la tendenza che indicano è chiara: alla fine del XII secolo in Inghilterra, almeno in alcune regioni che, per ora, non possono ancora essere definite, il cavallo cominciava ad essere usato per l'aratura. [Nota. Mentre questo libro va alle stampe, R. Lennard aggiunge nuovi importanti documenti sulla diffusione dell'impiego del cavallo da lavoro alla fine del XII secolo, e mostra che questo mutamento iniziò «nelle regioni orientali e nel Midland orientale dell'Inghilterra». Fine nota.] La Normandia era più avanti dell'Inghilterra: due documenti del XIII secolo indicano che nel ducato i contadini facevano l'intero lavoro dell'aratura con cavalli, ed un secolo più tardi Nicola d'Oresme, morto nel 1382 quale vescovo di Lisieux, dava per scontato che il lavoro dell'aratura venisse fatto con cavalli. [Nota. Eudes Kigaud registra che quando, nel 1260, si recava a cavallo da Meudon a Giset per la festa di san Matteo, «invenimus carrucas operantes et arrantes, quarum equos adduci fecimus ad Meullentum, pro eo quod in festo tanti Sancti presumpserint irreverenter operari». Fine nota.] Forse uno dei motivi dell'arretratezza tecnologica inglese era dovuto al fatto che, mentre in Francia lo sfruttamento diretto della proprietà dominicale diminuiva nettamente a favore degli affitti, l'Inghilterra del XIII secolo assisteva ad una decisa ripresa della proprietà dominicale e delle prestazioni d'opera. Il trattato di Walter of Henley fu uno dei testi destinati a favorire questa ripresa, ed il motivo reale della sua preferenza per il bue come animale da aratro risulta chiaro quando egli osserva che «la malizia dell'aratore non permette ad un aratro tirato da un cavallo di andare più veloce di uno tirato da un bue». [Nota. Qualcosa di analogo deve essere avvenuto in Germania, giacché lo scrittore satirico del XIII secolo Seifried Helbling mette in ridicolo i cavalieri che lasciano le armi per curare le loro terre, che non pensano ad altro che ai raccolti ed ai profitti, che si

preoccupano del formaggio, delle uova, e del prezzo del grano. Fine nota.] Questo «rallentamento» può aver influito sull'aratura del terreno dominicale, fatta con riluttanza sotto l'obbligo di una norma feudale (ed era tale tipo di aratura che, per la sua stessa natura, veniva ricordata), ma ciò non si sarà verificato quando il contadino lavorava il proprio fondo. E sia per superficie che per valore produttivo, nell'economia generale le proprietà contadine erano di gran lunga maggiori di quelle dominicali.

Non solo l'aratura, ma anche la rapidità ed il costo dei trasporti terrestri furono profondamente modificati a favore dei contadini dalla nuova bardatura e dalla ferratura. In epoca romana il trasporto terrestre di beni ingombranti ne raddoppiava il prezzo ogni cento miglia circa. Ne derivò che i latifondi, anche vicini a Roma, ma privi di vie d'acqua interne per competere con i carichi egiziani, nord-africani e siciliani, non potevano permettersi di coltivare grano per il mercato romano. Al contrario nel XIII secolo il costo del grano sembra aumentasse solo del trenta per cento ogni cento miglia di trasporto terrestre, cifra ancora alta, ma sempre tre volte inferiore a quella dell'antica Roma. Ora cominciava ad essere possibile anche per quei contadini, che non vivevano lungo corsi d'acqua navigabili, pensare meno in termini di sussistenza e più invece ad un'eccedenza di prodotto per il mercato.

Sappiamo ancora molto poco sul miglioramento dei carri che seguì l'invenzione della bardatura moderna, perfezionamento degli assi anteriori girevoli con perno, freni adeguati, bilancini e così via. [Nota. Il fatto che le ruote anteriori nella miniatura dell'Apocalisse di Treviri, che è dell'800 circa siano più piccole di quelle posteriori indica la presenza di un assale anteriore con perno. Non sono a conoscenza di bilancini anteriori a quelli raffigurati sulle porte di bronzo della cattedrale di Novgorod, fatte a Magdeburg, in Sassonia nel 1152-4. Fine nota.] La maggior parte dei veicoli romani, fatta eccezione per i carri cerimoniali e le corriere postali, sembrano essere stati a due ruote. Ma dalla prima metà del XII secolo troviamo un'ampia longa caretta a quattro ruote, tirata da cavalli, capace di portare pesanti carichi, e verso la metà del XIII secolo il carro aveva normalmente quattro ruote. Fra Salimbene narra che nel 1248, a Hyères in Provenza, fra Pietro di Puglia così rispose a chi gli domandava che cosa pensasse degli insegnamenti di

Gioacchino da Fiore: «Mi interesse di Gioacchino quanto della quinta ruota di un carro.» Non solo i mercanti, ma anche i contadini potevano ora portare più merci verso mercati migliori.

La nuova bardatura influenzò la vita dei contadini settentrionali anche in un'altra maniera. Quando i geografi storici cominciarono a studiare campi ed insediamenti abbandonati della Germania, ritenevano che questi fossero stati abbandonati durante la guerra dei Trent'anni o dopo la peste del 1348-50. Con loro stupore trovarono però che l'abbandono degli insediamenti, non dei campi, iniziò nell'XI secolo e fu molto intenso nel XIII. Non solo i contadini si dirigevano verso le città vicine, e continuavano ad andare ogni giorno nei campi, ma i villaggi assorbivano gli abitanti dei piccoli centri vicini. In un periodo nel quale la popolazione totale dell'Europa aumentava rapidamente, località da tempo abitate perdevano la loro identità per l'accentrarsi dei contadini in villaggi sempre più grandi. [Nota. É. Perroy mostra che intorno al 1280, in Francia, alcuni terreni messi a coltura da poco si erano rivelati inadatti ad usi agricoli, ed erano stati abbandonati. Evidentemente intorno a quell'epoca il diboscamento aveva raggiunto il punto di diminuire il profitto. Fine nota.] Nonostante il fatto che uno studioso abbia deplorato la conseguente «urbanizzazione spirituale» dei contadini del XIII secolo, i vantaggi personali di tale concentrazione sono evidenti: un piccolo centro di cinque o dieci case aveva una vita ristretta. [Nota. Quando H. Stoob dice della miriade di piccole città che sorsero durante il basso Medioevo che «bürgerliches Leben wird hier zur Miniatur, ja Karikatur», guarda al fenomeno dal punto di vista dell'uomo di città, non con gli occhi del contadino in ascesa. Fine nota.] Certo in un grosso villaggio di due o trecento famiglie vi sarebbe stata, non solo una difesa migliore in caso di pericolo, ma una taverna, una chiesa bella e grande, forse una scuola diretta dal prete, nella quale i ragazzi potevano imparare a scrivere, certo più corteggiatori per le ragazze, e poi, non solo venditori ambulanti con fagotti, ma mercanti con carri e notizie di paesi lontani. Ma questi vantaggi di una vita più «urbana» hanno sempre attratto il campagnolo. Come mai proprio all'inizio dell'XI secolo così numerosi furono coloro che riuscirono ad appagare i propri desideri? La risposta sta forse nel passaggio dal bue al cavallo come principale animale da lavoro. Il bue si muoveva così

lentamente che i contadini che lo usavano erano costretti a vivere sui campi. Con l'impiego del cavallo per l'aratura e per il trasporto lo stesso tempo già necessario per andare e venire dai campi sarebbe bastato al contadino per coprire distanze molto maggiori. Il rapporto matematico esistente fra il raggio di un cerchio e la sua area governò la ridistribuzione degli insediamenti. Anche un piccolo aumento della distanza massima che valeva la pena percorrere dal villaggio fino al campo più lontano, avrebbe accresciuto enormemente l'area totale che poteva essere coltivata dal villaggio stesso. Avvenne così che regioni una volta disseminate di minuscoli centri divennero vaste distese dominate da grandi villaggi che rimasero agrari da un punto di vista economico, ma la cui struttura e persino il modo di vita divennero incredibilmente simili a quelli d'una città.

Il fenomeno dell'agglomeramento è stato fino ad ora accertato solo per alcune parti della Germania, ve ne sono tuttavia tracce nella Francia settentrionale e nell'Inghilterra, e senza dubbio ebbe luogo in altre aree dove era tecnicamente possibile. Nel cuore del Medioevo questo «inurbamento» dei lavoratori agricoli pose le basi per quello spostamento del centro della civiltà occidentale dalla campagna alla città, che è stato così intenso negli ultimi secoli. Esso ha fornito al contadino settentrionale la preparazione psicologica per questo grande spostamento, e forse lo ha messo in grado di acquistare quelle attitudini e quegli «anticorpi» spirituali che hanno ridotto lo shock sociale degli sviluppi successivi.

Analizzando il rapporto cavallo-bue ci troviamo di fronte ad una strana serie di fatti. In gran parte dell'Europa settentrionale, dal Galles alla Svezia, il predominio dell'aratro pesante è stato tale che la superficie arabile si è misurata in otto sezioni, in relazione agli otto buoi dell'aratro: è stato tuttavia all'inarca in questa stessa regione - cioè nelle pianure formate dai fiumi che si versano nel mare del Nord e nel Baltico - che il cavallo è divenuto infine il normale animale da aratro. Quale particolare rapporto vi è stato fra il cavallo e l'aratro pesante? E se la bardatura moderna era conosciuta in Europa intorno all'800, perché il cavallo fu impiegato largamente nell'agricoltura con un ritardo di quasi tre secoli? La risposta va cercata in un nuovo sistema di rotazione

agraria che, unito all'aratro pesante ed al cavallo da tiro, completò il nuovo e ben più produttivo sistema dell'agricoltura settentrionale.

Capitolo III

La rotazione triennale e i miglioramenti della nutrizione.

Il sistema di rotazione triennale è stato definito «la più grande novità agricola del Medioevo nell'Europa occidentale». Esso si diffuse improvvisamente alla fine dell'VIII secolo: la prima notizia databile risale al 763; la successiva è del 783 e la terza dell'800. In seguito le testimonianze sono così frequenti che quegli storici che seguono il dogma che nella vita rurale nulla può mutare rapidamente sono costretti a credere che la rotazione triennale sia un'invenzione anteriore di molto, che sia però riuscita ad eludere i documenti.

Ma sembrerebbe che lo stesso Carlomagno pensasse alla nuova organizzazione dell'anno agricolo - che era stata adottata nei fondi imperiali, da quel che si può giudicare dal capitulare De villis, - come a qualche cosa di così nuovo e significativo che si era sentito costretto, come si è già detto, a ribattezzare i mesi in sua funzione. Precedentemente l'aratura per la semina invernale veniva fatta in ottobre o in novembre, ed il raccolto maturava in giugno o luglio, ma nella nuova nomenclatura di Carlomagno giugno, il mese in cui si ara il maggese, è il «mese dell'aratura», ed agosto il «mese del raccolto». Era la propaganda dell'imperatore per una novità agricola che egli dovette sentire di primaria importanza per il suo regno.

In epoca romana non vi fu nulla di paragonabile alla rotazione triennale. Plinio ci dice che una volta il popolo di Treviri seminò grano in marzo, dopo che la semina invernale era andata distrutta: ma ciò viene raccontato come un fenomeno del tutto insolito, e non vi è motivo di credere che venisse ripetuto. Plinio conosceva ovviamente prodotti estivi seminati in primavera, ma lo stesso elenco - miglio, panico, sesamo, salvia, crescione invernale (tutti prodotti che, dice, sono seminati in inverno in Grecia ed Asia, ma non in Italia), lenticchie, ceci, alica - paragonato a quello dei prodotti seminati in inverno: frumento, spelta, orzo, fagioli, rape e ravizzone - mostra quanto poco importante

fosse la semina primaverile. Egli ricorda anche che Virgilio raccomandava di piantare i fagioli in primavera, come si faceva vicino a Padova, ma Plinio considera normale la loro semina in autunno. I piselli invece, in Italia e nei climi più freddi, si seminano solo in primavera. Anche se Plinio e gli agronomi romani sapevano bene che i legumi arricchiscono il suolo, apparentemente non vi era alcun sistema regolare e consuetudinario di alternare tali colture con i cereali.

Ben più importanti anticipazioni della rotazione triennale si incontrano nell'estremo nord. Un paleobotanico danese ha concluso, sulla base dell'analisi dei pollini, che l'antica agricoltura della regione baltica era limitata alle semine primaverili, e che l'aratura e la semina autunnale furono, per quell'area, un'innovazione tardo medioevale. Scrivendo nel VI secolo prima di Cristo, Ecatèo dice che nella Britannia si facevano due raccolti ogni anno. L'Applebaum ha notato che nel Nord durante l'età del bronzo, il cereale principale era l'orzo, che nei climi settentrionali è stato generalmente, nel Medioevo e in tempi più recenti, una semina primaverile; egli suggerisce quindi che il mutamento di clima avvenuto intorno al 500 a. C. possa aver portato ad una concentrazione delle semine invernali, ma con tracce, in alcune aree, di semine primaverili.

Sembra dunque probabile che, mentre i Carolingi marciavano con i loro eserciti nella Germania barbarica, mentre san Bonifacio e le legioni dei suoi benedettini sostituivano le are pagane con cattedrali e chiostri, e mentre i germani ed i latini cominciavano a fondere i loro talenti nella costruzione di una nuova cultura europea, nello stesso momento le colture primaverili del Baltico e del mar del Nord si univano alle colture autunnali del Mediterraneo per creare un nuovo sistema agricolo di gran lunga più produttivo di ambedue i precedenti.

Come funzionò dunque il sistema triennale rispetto alla vecchia rotazione biennale? Nel sistema di rotazione biennale circa metà della terra veniva seminata con cereali invernali, mentre l'altra metà veniva lasciata a maggese. L'anno successivo i due campi invertivano le funzioni.

Nel sistema triennale la superficie arabile veniva approssimativamente divisa in tre parti. Una parte veniva seminata in autunno con frumento o segala. La primavera successiva il secondo

campo veniva seminato con avena, orzo, piselli, ceci, lenticchie o fave. Il terzo campo veniva lasciato a maggese. L'anno successivo il primo campo veniva seminato con colture primaverili, il secondo rimaneva a maggese, mentre il terzo veniva seminato con grani invernali.

{Nota. La tabella seguente è composta da tre righe, corrispondenti a tre campi, e da quattro colonne, relative a quattro anni. Per ciascun campo, vi può essere la semina invernale, quella primaverile, oppure il riposo. Fine nota.}

				Campi	Primo anno
Secondo anno	Terzo anno	Quarto anno	Campo 1	invernale	
primaverile	riposo	invernale	Campo 2	primaverile	riposo
invernale	primaverile	Campo 3	riposo	invernale	primaverile
riposo					

Nell'VIII, IX, e X secolo vi erano solo tre arature per l'intero ciclo triennale: in ottobre o novembre per la semina invernale; in marzo, o quando il terreno cominciava a riscaldarsi, per la semina primaverile; alla fine di giugno per il maggese. Così, nel periodo precedente, una comunità di villaggio di 600 acri, con il sistema di rotazione biennale, avrebbe lavorato 600 acri per 300 messi a coltura ogni anno, mentre degli stessi 600 acri a rotazione triennale 400 acri sarebbero stati messi a coltura, con lo stesso lavoro: un aumento di un terzo.

Ma al più tardi intorno al XII secolo si era cominciato a trovar conveniente, sia nella rotazione biennale che in quella triennale, arare il maggese due volte, in modo da eliminare le erbe ed aumentarne la fertilità. Questo mutamento aumentò ulteriormente la convenienza della rotazione triennale. Contadini che coltivassero 600 acri a rotazione biennale, ed arassero due volte il maggese, avrebbero arato annualmente $300 + 600 = 900$ acri per 300 messi a coltura. Con 600 acri a rotazione triennale, ed arando il maggese due volte, essi avrebbero arato ogni anno $200 + 200 + 400 = 800$ acri per 400 di seminativo. Sempre su 600 acri l'incremento della produzione, adottando la nuova rotazione, sarebbe ancora solo di un terzo. Ma, dal momento che il mutamento comportava una riduzione dell'aratura di 100 acri all'anno, si sarebbero potuti aggiungere, senza ulteriore lavoro, 75 acri ($25 + 25 + 50$), se, naturalmente, ci si poteva procurare questa terra cori la bonifica. Gli stessi contadini avrebbero così coltivato non 600 ma 675 acri, dei quali 450 seminativi, ed il vantaggio produttivo sulla rotazione biennale

sarebbe stato del 50 per cento. La diffusione del sistema di rotazione triennale diede così impulso al dissodamento: le foreste furono abbattute, le paludi furono prosciugate, e le dighe sottrassero i campi al mare.

La nuova rotazione aveva dunque molti vantaggi. In primo luogo, come si è appena detto, aumentò di un ottavo l'area che un contadino poteva lavorare, e della metà la produzione. In secondo luogo il nuovo sistema distribuì il lavoro dell'aratura, della semina e del raccolto più uniformemente nell'anno, aumentando così il rendimento. In terzo luogo ridusse il pericolo delle carestie, diversificando i prodotti e sottoponendoli a condizioni diverse di germinazione, sviluppo e raccolto. Ultimo fatto, ma forse il più importante, la semina primaverile, che era l'essenza della nuova rotazione, aumentò enormemente la produzione di alcuni prodotti che avevano un significato particolare.

L'avena era giunta in Europa dall'Asia Minore in epoca preistorica, probabilmente come erba che cresceva con il frumento, ma i romani non la coltivarono. L'avena è il migliore cibo per i cavalli. [Nota. E non si tratta di un'abitudine moderna; W. Dugdale cita un accordo, stipulato negli anni 1317-1318, che provvedeva regolarmente «fieno ed avena per quattro cavalli... fieno ed avena per otto cavalli». Fine nota.] Il bue è un «motore» che consuma erba: il cavallo è molto più efficiente come «motore ad avena». I contadini dell'Europa meridionale non avevano scelta fra bue e cavallo come bestia da aratro a causa della rotazione biennale, che non offriva un'eccedenza di biada sufficiente a mantenere molti cavalli. [Nota. Un inventario effettuato nel 1338 di 123 proprietà del priorato degli Ospedalieri di Saint-Gilles, vicino alla foce del Rodano, mostra che tutte, eccetto tre, usavano cavalli per l'aratura, nonostante il fatto che ventiquattro di queste proprietà, grazie a circostanze favorevoli, fossero state in grado di perfezionare ritmi di coltivazione più intensi della rotazione biennale. Nel 1422 si fece il tentativo di adoperare cavalli per far funzionare il grande paranco di Brunelleschi eretto per i lavori di costruzione della cupola della cattedrale di Firenze, ma i cavalli si dimostrarono almeno del 50 per cento più costosi dei buoi. Fine nota.] Dal momento che l'avena era una delle principali colture primaverili, i contadini settentrionali ebbero, come risultato dell'avvicendamento triennale,

l'eccedenza di biada necessaria, in qualità e quantità, per i cavalli. [Nota. J. Boussard dice che l'avena è menzionata per la prima volta nell'Angiò nel 1129, e che durante la seconda metà del secolo l'avena ed il frumento tendevano a rimpiazzare l'orzo e la segala quali cereali base. Dal momento che l'Angiò si trova al confine fra l'area del cavallo e quella del bue, fra quella a conduzione triennale e quella biennale, ed, infine, fra le aree a campi aperti e quelle a campi chiusi, sarebbe molto interessante conoscere gli esatti rapporti locali fra i raccolti ed i mutamenti connessi a questa trasformazione. Fine nota.] Alla fine del Medioevo sembra esservi una chiara correlazione fra la rotazione triennale e l'uso del cavallo nell'agricoltura.

Può essere che il ritardo di 300 anni fra l'arrivo della moderna bardatura e la diffusione dell'impiego del cavallo per scopi non militari possa essere spiegato con le difficoltà pratiche nel far passare un villaggio dalla rotazione biennale a quella triennale, Sappiamo di alcuni casi in cui ciò avvenne; [Nota. P. de Saint-Jacob cita l'esempio di alcuni villaggi borgognoni del XVIII secolo, a rotazione biennale, che desideravano mutare i sistemi di rotazione perché la monocultura del frumento e della segale era soggetta ai danni delle cattive annate, ed i contadini rimanevano disoccupati per molti mesi. P. Féral mostra il grande beneficio economico della diffusione, in epoca recente, nella Guascogna, di un sistema modificato di rotazione triennale. D'altra parte L. Musset segnala una comunità della Normandia che nel 1291 seguiva una rotazione triennale, mentre nel 1836 ne seguiva una biennale. E. Juillard ritiene che tali «ritorni» possano essere avvenuti quando, nel tardo Medioevo o in epoca moderna, un villaggio vicino ad un grande mercato cittadino volle aumentare la produzione di frumento per quel mercato e raccogliere meno orzo, avena e simili. Inoltre G. Schroder-Lembke, parla di comunità che nel XIII secolo seguivano la rotazione triennale, ma che all'inizio del XIV avevano perfezionato un sistema quadriennale, presumibilmente in un tentativo di aumentare le semine primaverili. Fine nota.] ma, a meno che non fosse possibile la messa a coltura di un terzo campo, [Nota. Come avvenne, prima del 1220, in un villaggio dello Yorkshire. Fine nota.] o le proprietà individuali, per puro caso, non fossero disposte in modo tale che dove ve n'erano di divise in due si potessero dividere in tre senza drastiche ridistribuzioni delle

strisce, una evoluzione siffatta deve essersi scontrata con l'opposizione dei diritti acquisiti.

Sistemazioni di questo genere possono essere effettuate molto più facilmente quando si colonizzano nuove terre, o quando aree devastate vengono ripopolate dopo un periodo di caos. La fine del IX e l'inizio del X secolo furono un periodo di terrore: le regioni dell'Europa settentrionale che non furono invase dai cavalieri ungari, furono devastate dalle scorribande vichinghe. Solo dopo che i normanni si furono stabiliti alla foce della Senna e nel Danelaw, e dopo che la potenza magiara era stata schiantata a Lechfeld, ebbe termine la seconda ondata di invasioni, ben più distruttiva delle incursioni germaniche, che avevano travolto Roma. La ricostruzione iniziò immediatamente, e sembra probabile che nel Nord le nuove comunità agricole siano state desiderose di organizzarsi secondo la nuova e superiore tecnica della rotazione delle colture; [Nota. Gran parte delle comunità dell'area delle piogge estive, che non potevano suddividere nuovamente le terre, in modo da utilizzare a pieno il nuovo sistema, scesero ad un compromesso: le terre rimasero divise in due campi, ma metà del terreno arativo di ciascun anno veniva seminato in autunno, metà in primavera. Anche se meno produttivo del sistema triennale completo, questo metodo aveva molti dei vantaggi di quello, ed era forse particolarmente adatto per regioni con terreni relativamente poveri, che si sarebbero senz'altro esauriti con una rotazione più intensiva. Fine nota.] ed essa le avrebbe gradualmente rifornite di quell'avena, che permise l'allevamento di cavalli. Tenendo conto di questa connessione di eventi non ci si deve meravigliare se il cavallo da lavoro cominciò ad essere impiegato sempre più spesso nell'XI secolo.

Il problema della diffusione del sistema di rotazione triennale dal punto di origine nell'area franca, fra la Senna ed il Reno, non è stato ancora studiato sistematicamente. Come la soluzione di tanti altri problemi fondamentali di storia agraria, anche questo dovrà attendere una documentazione locale ed indagini sul campo ben più dettagliate di quante non ne siano state fino ad ora condotte. [Nota. W. Müller-Wille pubblica una carta dell'area a coltura, triennale in Europa. Si deve notare come tale sistema di coltivazione non sia mai penetrato nelle Fiandre ed in Olanda, o sulle coste tedesche del mar del Nord. Qui non vi era alcun

sistema di rotazione: il singolo contadino fertilizzava il proprio campo con terricciati o torba ed il clima umido dava pascoli così ricchi che non era necessario il maggese per il pascolo. Il Müller-Wille è tuttavia in errore quando sostiene che la rotazione triennale deve essere stata inventata dai franchi per assicurarsi il foraggio per il bestiame quando essi si spostarono verso il clima «continentale» dell'interno, che forniva minori pascoli, e dove l'economia pastorale era in concorrenza anche maggiore con un'agricoltura basata sui cereali. I franchi non avevano bisogno di inventare, per tale scopo, la rotazione triennale, dal momento che la rotazione biennale consente anch'essa il pascolo sul maggese. Fine nota.] Anche in Germania, dove più che altrove si è lavorato in questo senso, non si può dire altro che la diffusione della rotazione triennale avvenne molti secoli dopo il suo inizio, che risale a poco prima dell'800. L'Ungheria lascia sconcertati: un'abbazia sembra praticare l'avvicendamento triennale nei suoi possessi nel 1086, ma non se ne trova altro cenno fino al 1355. Nel XIII secolo essa appare fra gli Slavi meridionali, in Polonia e nella Svezia meridionale. Ad occidente, non sembra che abbia raggiunto l'Inghilterra prima del XII secolo, donde fu probabilmente portata in Irlanda alla fine dello stesso secolo dai colonizzatori anglo-normanni.

Abbiamo visto in che misura la nuova disponibilità di avena derivante dalla rotazione triennale aumentasse il numero e la forza dei cavalli. Ma anche gli uomini subirono l'influenza delle nuove risorse di cibo.

In aggiunta all'avena ed all'orzo la semina primaverile era abitualmente composta di legumi. Abbiamo già notato che i romani conoscevano i piselli, i ceci, le lenticchie e le fave, e sapevano anche che i legumi arricchiscono il suolo. Ma la preferenza mediterranea per le semine autunnali sembra esser stata così forte che anche nell'area settentrionale, di piogge estive, i romani non coltivarono questi prodotti in gran quantità rispetto ai cereali. Ma, tuttavia, dalla fine dell'VIII secolo, le colture estive di legumi cominciarono a rivestire un ruolo importante ed indispensabile nella nuova rotazione triennale. In realtà la loro funzione non è stata ancora sufficientemente sottolineata; la proprietà di queste piante di fissare l'azoto era fondamentale per il mantenimento della fertilità nella coltivazione più intensa.

Malthus non era un dietista: egli supponeva infatti che la popolazione fosse legata alle disponibilità del cibo. Il problema è ben più complesso: il cibo non è ancora cibo se non forma una razione equilibrata, il cui elemento principale è la relazione fra carboidrati e proteine. Una dieta sovraccarica di carboidrati diviene rapidamente pericolosa come la fame, ed è infatti «fame» di amminoacidi. Teoricamente una società può essere in grado di produrre una grande quantità di carboidrati, che non avrebbe alcun motivo pratico di produrre finché non riesce ad aumentare la disponibilità di proteine. Tutto ciò che influisca sulla quantità di proteine disponibili avrà rapidamente un riflesso demografico.

Nella rotazione triennale la semina autunnale era in gran parte di carboidrati, ma quella primaverile aveva un gran numero di proteine vegetali. Alla fine dell'XI secolo, queste ultime erano diventate non meno importanti dei cereali, come è indicato dal lamento di Orderico Vitale sulla terribile siccità che colpì la Normandia e la Francia nell'estate del 1094, e seccò «le messi ed i legumi» (*segetes et legumina*). L'immagine consueta dei campi estivi ci è data dall'antica filastrocca inglese: “Do you, Do I, does anyone know How oats, peas, beans and barley grow? [Forse che tu, io o qualcun altro sa come l'avena, i piselli, i fagioli e l'orzo crescono?]” E nel XIII secolo sant'Alberto Magno ci dice dell'anguilla che lascia i fiumi per i campi, dove troverà seminati i piselli o i ceci. Gli schiavi di Catone venivano nutriti con cereali e non con fagioli, e Plinio aveva lodato come cibo i legumi più dei cereali. Un sacramentario carolingio riporta una *Benedictio favae*: adesso le preghiere venivano esaudite.

Le conoscenze da poco acquisite nel campo dell'alimentazione ci consentono dunque di guardare più a fondo nella dinamica del basso Medioevo. Mentre i legumi disponibili nell'Europa medioevale non erano, da soli, in grado di fornire la serie completa degli amminoacidi biologicamente necessari, per una fortunata coincidenza le piccole quantità di proteine che si trovano nei cereali comuni erano l'esatto complemento dietetico a quelle che si trovano nei legumi, e particolarmente nei piselli di campo. Non è soltanto la nuova quantità di cibo prodotto dal miglioramento dei metodi agricoli, ma è anche il nuovo tipo di cibo che permette di spiegare, almeno per l'Europa

settentrionale, l'inizio dell'espansione demografica, il crescere ed il moltiplicarsi delle città, l'incremento della produzione industriale, il diffondersi del commercio, il nuovo senso della vita che animava quell'epoca. [Nota. Si devono condurre attenti studi su altre nuove fonti di proteine di questo periodo, e sui nuovi metodi per preservare e trasportare la carne, il pesce ed il formaggio. La grande espansione dei mulini ad acqua, e quella conseguente dei bacini per i mulini, deve certamente aver influito sulla disponibilità di pesce fresco in tutte le stagioni, come mostra la frequenza con la quale l'affitto dei mulini veniva pagato con pesci ed anguille. Un manoscritto armeno del XIII secolo mostra un mulinello per la pesca; lo stesso strumento appare in Cina nella prima metà del XIV secolo, ma fino ad oggi non se ne sono trovate in Europa tracce anteriori al 1651. Mentre i pesci bianchi, come il merluzzo, contengono relativamente pochi grassi, e possono quindi essere affumicati o salati facilmente, le aringhe, molto oleose, contengono un grasso insaturo che irrancidisce facilmente combinandosi con l'ossigeno dell'aria, rendendo difficile l'immagazzinaggio ed il trasporto, fatto questo particolarmente grave in quanto le aringhe, al contrario della maggior parte dei pesci bianchi passano stagionalmente in grandi banchi. La tecnica di salare le aringhe in barili, in maniera tale da eliminare l'aria e permettere il trasporto su grandi distanze, e la conservazione per anni, appare per la prima volta nel 1359. E. M. Veale mostra che il coniglio raggiunse l'Inghilterra nel 1176, e divenne comune nel XIII secolo. Nel 1341 a Milano il Fiamma, dopo aver rilevato l'allevamento selettivo dei destrieri e dei cani «Alani», nota: «et cuniculis castra et civitatem repleverunt». La grande vitalità dell'Italia, della Provenza e della Spagna in questo periodo non può essere spiegata in termini di tecnologia agraria. G. Luzzatto è nel giusto quando dice che i trattati di Catone, Varrone e Columella sembrano quasi descrivere una proprietà agricola italiana del 1800. Tuttavia, D. Herlihy presenta una rivoluzione non tecnologica, ma di gestione, contemporanea al miglioramento tecnologico che si registra a nord della Loira e delle Alpi. A causa delle successioni ereditarie, nel sud i possessori terrieri erano stati frazionati al punto di raggiungere una completa inefficienza agricola. Dal 960 circa, con un culmine intorno al 1070, gioielli e altri beni tesaurizzati vennero convertiti sempre più

frequentemente in danaro, che veniva investito per consolidare i frammenti di terra in unità realmente produttive. Gli sforzi della riforma gregoriana per consolidare i possessi ecclesiastici dispersi e depauperati ebbero lo stesso risultato. Nell'Europa settentrionale la diffusa sostituzione delle strisce sparse coltivate individualmente con i campi aperti, controllati comunitariamente ed amministrati come unità, rappresentò una rivoluzione di gestione che contribuì indubbiamente all'alta produttività della nuova tecnica agricola. Nell'area mediterranea i nuovi criteri di gestione furono applicati all'antica tecnica romana, che era straordinariamente adatta alle condizioni ambientali, ed i risultati furono eccellenti. Nonostante la conclusione dell'Herlihy, che questa trasformazione nella gestione perse parte della sua vitalità nel XIII secolo, i mercanti italiani fecero forti investimenti in lavori di miglioria durante il XIII secolo, un po' meno nel XIV e più che mai nel XV. E in effetti, nel XV secolo, quando la maggior parte dell'Europa registrava un declino demografico, l'Italia settentrionale e centrale sembrano essere state in espansione. Sarebbe interessante scoprire se lo sviluppo dei «castelli», villaggi fortificati di contadini liberi, avvenuto in Italia a partire dal X secolo, sia un fenomeno dello stesso tipo, o diverso, del concentrarsi della popolazione contadina in grandi villaggi, al quale si assiste in Germania. Il mio suggerimento che la transizione dal bue al cavallo nell'agricoltura può aver favorito le concentrazioni nel Nord è irrilevante per lo sviluppo dei castelli, giacché il bue rimane predominante nella penisola. Fine nota.] Dal X secolo in poi il Medioevo fu straripante d'energia. Capitolo IV.

Lo spostamento a nord del centro di gravità dell'Europa.

Nel 1937 apparve postumo il capolavoro dello storico belga Henri Pirenne, *Mahomet et Charlemagne*. Da allora quest'opera è stata al centro delle discussioni di storia economica del Mediterraneo dal V al X secolo. Secondo Pirenne il mondo romano d'Occidente non «cadde», ma si disintegrò lentamente. Fino al 700 circa, nonostante il caos politico, venne preservata l'unità sostanziale del Mediterraneo. I mercanti levantini continuarono a trafficare fin nel regno merovingico, e questo commercio può ben essere rimasto attivo come nei tempi più antichi e più felici. Ma nel VII secolo il sorgere dell'Islam spezzò l'unità già smembrata del Mediterraneo. I contatti commerciali con l'Est

vennero troncati, e nell'VIII secolo la conquista della Spagna visigotica da parte dei musulmani lasciò il re dei Franchi quale unica potenza di rilievo in ciò che era rimasto dell'Occidente latino. Tagliato fuori dalle grandi correnti della vita mediterranea che continuava, il regno franco si rinchiuse in se stesso e divenne il nucleo di una nuova civiltà. La rottura da parte dell'Islam dell'unità culturale e commerciale mediterranea fu, secondo il Pirenne, «il fatto più essenziale che sia avvenuto nella storia dell'Europa dal tempo delle guerre puniche. È la fine della tradizione antica e il principio del Medioevo... Senza Maometto Carlomagno è inconcepibile». Nessun'altra opera di storia del nostro secolo ha provocato una così straordinaria esplosione di ricerche, per lo più condotte per confutarla. I critici hanno ora distrutto fin nei particolari la tesi del Pirenne; il commercio mediterraneo aveva subito un lungo e costante declino; la conquista islamica non chiuse il Mediterraneo al magro commercio che ancora esisteva fra Oriente ed Occidente; gli storici dell'economia non possono tracciare un taglio netto fra l'epoca merovingica e quella carolingia per quanto riguarda i contatti con l'Est.

Ma queste discussioni hanno portato fuori strada: la spiegazione del Pirenne è stata fatta a pezzi, ma ciò che egli aveva tentato di spiegare non è ancora stato chiarito in altro modo. L'osservazione dalla quale egli era partito era lo spostamento del centro di gravità dell'Europa, nell'epoca carolingia, dal sud al nord, dalle terre classiche del Mediterraneo alle grandi pianure alluvionali della Loira, della Senna, del Reno, dell'Elba, del Danubio superiore e del Tamigi. Le terre dell'olivo e della vite rimasero vigorose e creative, ma chi può mettere in dubbio che, eccetto brevi periodi, dal IX secolo ai nostri giorni il cuore della civiltà europea sia stato a nord delle Alpi e della Loira? Anche se la risposta del Pirenne è stata respinta, il problema rimane.

Una soluzione più sicura del problema storico dello spostamento del centro di gravità dell'Europa dal sud al nord va cercata nella rivoluzione agraria dell'alto Medioevo. All'inizio del IX secolo tutti i principali fattori di questa rivoluzione erano stati messi a punto: l'aratro pesante, i campi aperti, la bardatura moderna, la rotazione triennale - tutto eccetto i ferri da cavallo, che appaiono un secolo più tardi. Certamente il passaggio al sistema di rotazione triennale segnò un tale assalto alle proprietà contadine esistenti che la sua diffusione al di fuori

delle terre propriamente franche fu lenta: ma il fatto che Carlomagno ribattezzasse i mesi indica quale importanza il nuovo ciclo agricolo avesse nella sua mente. Possiamo ritenere per certo che l'aumento della produttività fu anche ai suoi tempi uno dei maggiori stimoli per il nord.

La rivoluzione agraria dell'alto Medioevo si limitò alle pianure settentrionali, dove l'aratro pesante era adatto ai terreni più ricchi, dove le piogge estive permettevano vaste semine primaverili, e dove l'avena del raccolto estivo nutriva i cavalli che tiravano gli aratri pesanti. In queste pianure ebbero origine i caratteri distintivi del mondo tardo medioevale e di quello moderno. L'aumentato rendimento del lavoro rialzò il tenore di vita del contadino settentrionale, ed aumentò quindi, la possibilità di comprare manufatti. Esso fornì quell'eccedenza alimentare che, dal X secolo in poi, permise un rapido inurbamento. Nelle nuove città sorse una classe di artigiani specializzati e di mercanti, i borghesi, che rapidamente presero il controllo delle loro comunità e crearono un nuovo e caratteristico sistema di vita, il capitalismo democratico, Ed in questo nuovo ambiente sorse la caratteristica dominante del mondo moderno: la tecnologia dell'energia.

Parte terza

Ricerche medioevali sull'energia meccanica e sulle macchine.

Il basso Medioevo, approssimativamente dall'anno 1000 alla fine del XV secolo, è un periodo di decisivo sviluppo nella storia dei tentativi di sfruttare meccanicamente le forze della natura, per scopi umani. Ciò che era stato, fino a quell'epoca, un brancolare empirico si convertì, con sempre maggiore rapidità, in un programma ampio e cosciente destinato ad imbrigliare e dirigere le energie osservabili intorno a noi. Quella tecnologia dell'energia, risparmiatrice di fatica umana, che è stata una delle caratteristiche precipue dell'Occidente nell'età moderna, dipende non solo dal mutamento, avvenuto nel Medioevo, dell'atteggiamento degli uomini nei confronti dello sfruttamento della natura, ma anche, in gran parte, da conquiste propriamente medioevali. Il famoso passo che si incontra verso la fine del Discorso sul metodo di Cartesio (1637), nel quale egli dice che «conoscendo distintamente la potenza e gli effetti del fuoco, dell'acqua, dell'aria, degli astri, dei cieli e di tutti gli altri corpi a noi circostanti, a quel modo che li conosce ogni tecnico per la sua arte, noi potremmo impiegarli similmente a tutti gli usi a cui sono adatti, e renderci così padroni e possessori della natura», non era una proposta nuova. Al contrario, fissava un programma che aveva già dominato le ambizioni di molte generazioni di ingegneri, e che da tempo aveva prodotto notevoli risultati. [Nota. F. M. Feldhaus afferma che il termine «ingegnere» appare per la prima volta in Johannes Codagnellus, Annales piacentini, che, per quanto scritti all'inizio del XIII secolo, si riferiscono al 1196, ad un «Alamannus de Guitelmo, enceignerius communis Mediolani». Feldhaus sostiene che il termine deriva da incingere, «fortificare». Tuttavia nel 1190-2 Ambroise collega esplicitamente gli ingegneri con le macchine: «engineors qui savaient d'engins plusors». Io non sono riuscito a trovare la parola prima del 1170, quando «Ricardus ingeniator, vir artificiosus... et prudens architectus» compare a Durham. Fine nota.]

Capitolo I

Le fonti di energia.

Dal momento che l'età ellenistica aveva inventato non solo il meccanismo per convertire il moto rotativo in alternativo, l'eccentrico, ma anche gli ingranaggi nelle tre forme essenziali - la stella, la corona, e la vite senza fine - e andava producendo intorno al I secolo a. C. meccanismi con ingranaggi molto complessi, è strano che i suoi tecnici ingegnosi non abbiano fatto maggiori progressi nello sfruttamento delle fonti di energia. La turbina a vapore, gioco meccanico di Erone di Alessandria, ed il suo piccolo mulino a vento, in realtà piuttosto dubbio, non sembrano aver influenzato la tecnologia fino al Rinascimento. Tuttavia i turbolenti decenni durante i quali Roma andava estendendo il suo potere sul Levante furono segnati da una conquista ben più durevole della Pax romana: l'inizio del controllo dell'energia idraulica. Un papiro del II secolo a. C. parla di una noria, o ruota di irrigazione automatica, in Egitto; [Nota. L'unica raffigurazione antica che ci sia pervenuta di tale noria ci viene dalla metà del II secolo d. C. È probabilmente ad una noria e non ad un mulino ad acqua che si riferisce Lucrezio. Fine nota.] ed intorno al 18 a. C. Strabone menziona un mulino ad acqua per il grano, esistente nel palazzo che Mitridate, re del Ponto, aveva completato nel 63 a. C. [Nota. Rostovtzeff sottolinea che, in epoca antica, i papiri non menzionano mulini ad acqua in Egitto. Fine nota.] Antipatro, un contemporaneo di Strabone, celebra il mulino ad acqua che avrebbe alleviato i lavori delle schiave. Senza dubbio le prime ruote idrauliche erano orizzontali, e giravano intorno ad un asse verticale fissato alla macina; ma Vitruvio, che è generalmente datato alla fine del I secolo a. C., dà istruzioni per la costruzione di una ruota idraulica colpita di sotto, che comportava degli ingranaggi per collegare l'asse orizzontale della ruota con l'asse verticale delle macine. Dal momento che un ingranaggio di questo tipo consentiva una velocità di rotazione delle macine molto maggiore di quella della ruota, il mulino di Vitruvio

è la prima grande conquista nella progettazione di un meccanismo ad alimentazione continua.

Probabilmente la ruota idraulica orizzontale fu un'invenzione barbarica. In scavi molto scrupolosi di due sbarramenti nello Jutland, uno risalente ai primi anni dell'era cristiana, l'altro di poco posteriore, l'andamento dei depositi di fango era spiegabile solo supponendo la presenza di mulini ad asse verticale. [Nota. Mulini di questo tipo erano distribuiti largamente, sia nel tempo che nello spazio Presumibilmente poiché i loro lavoratori indiani non avevano familiarità con gli ingranaggi, i missionari francescani costruirono, all'inizio del XIX secolo, un mulino di questo tipo, che ho visto personalmente, vicino a San Antonio de Padua, in California. E. Eude dimostra che la moderna turbina idraulica è la discendente diretta delle primitive ruote ad acqua orizzontali, che venivano spesso dotate di pale a cucchiaino ed incassate. L'attribuzione al III o IV secolo di una complessa ruota idraulica a forma di turbina conservata nel Conservatoire des Arts et Métiers di Parigi non è documentata: non si sa nulla della sua provenienza. Fine nota.] Inoltre nel 31 d. C. un'analogha ruota idraulica orizzontale si incontra in Cina: essa serviva a far girare un asse verticale che sosteneva una ruota superiore, la quale, per mezzo di un piolo eccentrico e di una corda, azionava i mantici di una fornace per fondere il ferro. L'apparizione quasi simultanea di questa prima macchina motrice, in regioni così distanti come il Mediterraneo, la Danimarca settentrionale e la Cina, fa supporre una diffusione da un centro ancora sconosciuto, posto presumibilmente a nord e ad est dell'impero romano.

Certo anche il cosiddetto mulino di Vitruvio può essere stato un'importazione nell'area mediterranea. Ad un secolo da Vitruvio si conosceva in Cina una specie di maglio idraulico per macinare riso. [Nota. Nel 290 d.C. si incontra in Cina una ruota idraulica verticale per di sotto, che azionava magli per scortecciare il riso ed era così efficiente da sconvolgere il mercato del riso. Di fronte a tale testimonianza desta perplessità il fatto che all'inizio del IX secolo Ennin sembra aver considerato i mulini ad acqua non comuni. Fine nota.] I magli possono essere azionati da un albero verticale fornito di alette elicoidali, ma il primo meccanismo di tale disegno appare in Francia nel 1578, e nessun tipo di meccanismo a vite raggiunse la Cina prima dell'età moderna.

Dobbiamo quindi concludere che questi magli cinesi venivano messi in moto da eccentrici fissati all'albero orizzontale di una ruota idraulica verticale. L' diffusione di un meccanismo così nuovo e complesso come la ruota idraulica verticale da Roma alla Cina nelle due o tre generazioni fra Vitruvio e l'Hou Han-shu è così improbabile che dobbiamo cercare un punto intermedio di diffusione ancora sconosciuto.

Tuttavia, nonostante tutta l'utilità potenziale del mulino ad acqua, ed il fatto che la ben più utile ruota idraulica colpita di sopra fosse conosciuta nel Mediterraneo forse già dal IV secolo e certamente nel V, né Roma né la Cina mostrarono grande immaginazione nell'applicarla a processi industriali. [Nota. C. L. Sagui va molto al di là dei documenti disponibili quando sostiene che i mulini ad acqua in epoca romana ebbero numerose e diverse applicazioni industriali. L'unica raffigurazione antica, giunta fino a noi, di una ruota ad acqua per di sopra, proveniente da un cimitero presso Sant'Agnese, a Roma, non è stata, a quanto pare, né datata né pubblicata. Fine nota.] L'unico indizio che i romani l'abbiano potuta usare per qualche cosa di diverso dal macinare il grano, si trova nella Mosella di Ausonio - che si suppone scritta intorno al 369 d. C. -, dove si parla dello stridente rumore di una sega da marmo azionata dall'acqua, lungo le rive del Ruwar, un affluente della Mosella. [Nota. Al Museo di Napoli una ruota ad acqua ricostruita da impronte trovate nelle ceneri di Pompei è tanto piccola che F. M. Feldhaus ritiene che possa essere servita ad azionare non un mulino, ma una qualche specie di automa; ma di quest'ultimo non vi sono tracce. R. J. Forbes asserisce che Vespasiano (69-79 d. C.) rifiutò di erigere un paranco idraulico per timore che potesse essere causa di disoccupazione. Dal momento che non si conoscono altri paranchi azionati ad acqua prima di quello del Tirolo del 1515, si tratterebbe di un fatto molto importante. La fonte di Forbes, Svetonio, Vespasianus, cap. 18, non implica tuttavia un tale apparato: «Medianico quoque grandis columnas exigua impensa perducturum in Capitolinum pollicenti praemium pro commento non mediocre optuht, operam remisit, praefatus sineret se plebiculam pascere.» Fine nota.] Il fatto che nessun'altra sega idraulica ci sia nota prima del taccuino di disegni di Villard de Honnecourt, del 1235 circa, sarebbe indicativo soltanto della

povertà delle nostre fonti per la storia della tecnologia antica, se non fosse per alcuni aspetti sconcertanti che riguardano la Mosella.

L'unica pietra di valore commerciale nella regione del Ruwar è l'ardesia turchina per tetti, che si rompe così facilmente che non richiede e non può essere segata. [Nota. Il dr. P. J. Alexander dell'Università del Michigan, che sta preparando una nuova edizione dei sermoni sull'Ecclesiaste di Gregorio di Nissa, suggerisce che un passo in Hom, III, riferito al taglio del marmo, indica seghe idrauliche nell'Anatolia del IV secolo. Il taglio del marmo con «acqua e ferro» significa tuttavia probabilmente che l'acqua veniva usata per raffreddare la sega orizzontale di ferro e per portare l'abrasivo lungo il taglio, fino alla sega: cfr. sotto, nota 24. Undici secoli più tardi il cardinale Bessarione considerava una novità le seghe idrauliche. Forbes afferma che la presenza di queste seghe da marmo è confermata da Venanzio Fortunato (m. intorno al 600 d. C.). La sua fonte, tuttavia, menziona solo mulini per il grano, Carmina: «Ducitur inriguis sinuosa canalibus unda, Ex qua fert populo hic mola rapta cibum.» Fine nota.] Che si trasportasse del marmo grezzo per segarlo fino ad un così oscuro corso d'acqua è inconcepibile perché non mancavano, nella Gallia settentrionale, luoghi adatti all'installazione di mulini. Plinio ci dice inoltre che allora, come in epoca moderna, il marmo non era tagliato con una sega dentata, ma con una sega liscia ed un abrasivo. Questo significa che, ai tempi di Ausonio, una sega da marmo avrebbe dovuto essere orizzontale, ma una sega idraulica orizzontale avrebbe richiesto meccanismi per la conversione del moto ben più complessi di quelli del primo strumento successivo del genere, la sega da legno verticale di Villard, di quasi nove secoli dopo.

Inoltre la tradizione manoscritta della Mosella è strana. Il poema non appare mai nelle più importanti collezioni di scritti di Ausonio, ed una lettera «di convalida», attribuita a Simmaco, che ad esso è sempre unita, non si trova negli epistolari regolari di Ausonio, nei quali la corrispondenza con Simmaco ha tanta importanza. Questa lettera è presente invece nella raccolta delle lettere di Simmaco; tuttavia nessun manoscritto di questa sezione è più antico dell'XI secolo, e la lettera può essere stata inserita da un dotto copista, che la conosceva dalla Mosella. Ermenrico di S. Gallo (850 d. C. circa) ha lasciato un'epistola in versi ed

un epigramma nei quali egli avrebbe fatto propri e modificato alcuni versi della Mosella. Ma siamo sicuri che Ermenrico piuttosto che il saccheggiatore non sia egli il saccheggiato? Il più antico manoscritto contenente la Mosella (Codex Sancti Galli 899) è datato al X secolo, e proviene dallo scriptorium della sua abbazia. In altre parole la Mosella, un poema che appare, sia per lo stile che per sensibilità verso la natura, notevolmente, e quindi sospettosamente, al di sopra del livello delle opere sicuramente autentiche di Ausonio, ricorre solo in manoscritti tardi e marginali dell'autore. Non potrebbe forse essere l'opera di un umanista medioevale? Basta richiamare alla mente l'anonimo «O, tu qui servas armis ista moenia» per riconoscere che alla fine del IX e nel X secolo vi erano poeti latini di prim'ordine. Finché le anomalie concernenti la Mosella non saranno chiarite, dobbiamo andar cauti nell'attribuire le seghe idrauliche alla fine del IV invece che al X secolo.

Verso la fine del X o nell'XI secolo cominciamo ad aver le prove che si andava utilizzando l'energia idraulica per impieghi diversi dalla macinazione del grano. Intorno al 983 vi era forse una gualchiera - la prima applicazione pratica dell'albero ad eccentrici in Occidente - sulle rive del Serchio, in Toscana. Nel 1008 una donazione di proprietà ad un monastero di Milano menziona non solo mulini per la macinazione del grano, ma, adiacenti a questi, lungo la corrente, delle fullae, che erano probabilmente gualchiere. Nel 1010 il toponimo Schmidmulen nell'Oberpfalz indica che nelle fucine della Germania erano in funzione magli azionati ad acqua. Fra il 1040 ed il 1050 c'era a Grenoble un mulino per la follatura, ed intorno al 1085 uno per la lavorazione della canapa. Intorno al 1080 l'abbazia di Saint Wandrille, presso Rouen, riceveva le decime di una gualchiera; verso il 1086 due mulini inglesi pagavano il canone con lingotti di ferro: [Nota. H. James, Domesday Book Facsimile, Somersetsbire, Southampton 1862: «II molini reddentes II plumbas ferri». Gli altri mulini del Domesday Book pagano o in contanti o in anguille, o con ambedue. Fine nota.] usavano dunque l'energia idrica per le fucine. Prima della fine dell'XI secolo mulini per la lavorazione del ferro si trovavano anche vicino a Bayonne, in Guascogna.

Anche se alla mente moderna, che accetta la tecnologia dell'energia come qualcosa di assiomatico, il millennio fra la prima

apparizione del mulino ad acqua e la sua applicazione su vasta scala sembra incomprensibile, quei mille anni furono in realtà tutt'altro che statici per quanto riguarda la diffusione dell'energia idraulica. Anche nei periodi più oscuri dell'alto Medioevo, sui quali le nostre fonti sono considerevolmente meno ricche che per l'epoca romana, le testimonianze scritte su mulini ad acqua sono di gran lunga più frequenti e più diffuse che per il periodo precedente. Nel 1086 il Domesday Book elenca 5624 mulini per circa 3000 comunità inglesi. [Nota. R. Lennard fornisce motivi per considerare troppo basso questo calcolo. Nel IX secolo un mulino con tre ruote era in funzione presso Old Windsor. Verso la fine dell'XI secolo venivano spese grandi somme per l'energia idraulica. Nel 1097 l'imperatore Enrico IV ordinò un difficile e costoso canale, del quale esistono ancora tracce, da tagliare attraverso le cime rocciose che dominano il fiume Klam, nel Tirolo, per creare una cascata per i mulini dell'abbazia di Vöcklabruck, presso Schwanau. Fine nota.] E non vi è alcun motivo di credere che l'Inghilterra fosse più progredita, dal punto di vista tecnologico, dell'Europa continentale. Intorno all'XI secolo l'intera popolazione dell'Europa viveva talmente a contatto con uno dei più importanti prodotti della tecnologia dell'energia che se ne cominciavano a riconoscere le possibili implicazioni.

Nell'XI secolo il primo segno di un interesse per ulteriori fonti di energia appare nella costruzione di mulini che sfruttano le maree. Il mulino che sfrutta le maree può sembrare solo un piccolo progresso rispetto al mulino azionato dalla corrente di un fiume, ma è un segno che gli uomini che vivevano su estuari paludosi, o in piccoli porti dove le correnti erano insufficienti, non erano disposti a subire il loro destino. Nel 1044 un mulino a maree era in funzione nelle lagune dell'Adriatico settentrionale, e fra il 1066 ed il 1086 un altro ne deve essere stato costruito all'ingresso del porto di Dover. Ma, a causa delle fluttuazioni stagionali nell'altezza delle maree, tali mulini non sono soddisfacenti; essi continuarono tuttavia ad essere molto diffusi durante tutto il basso Medioevo. La loro invenzione è importante soprattutto come annuncio di quel che sarebbe avvenuto in seguito, come sintomo di un nuovo atteggiamento che avrebbe mutato completamente il carattere della vita umana.

Alcune popolazioni vivevano in regioni pianeggianti, dove i fiumi scorrevano troppo lentamente per far girare con forza sufficiente una ruota, e dove la costruzione di bacini avrebbe allagato troppo buon terreno agricolo. Ma non si potevano utilizzare i venti? La capacità di ricerca della tecnologia occidentale si manifesta chiaramente nel XII secolo con l'invenzione del mulino a vento, che ruotava su di un asse leggermente inclinato sull'orizzonte per garantire un'azione a turbina sulle pale.

Poiché nell'area dello sciamanismo le bandiere sventolanti sono una forma di preghiera, si è a volte avanzata l'ipotesi che la ruota delle preghiere del Tibet, mossa dal vento, costruita come un anemometro e ruotante su di un asse verticale, sia, non solo molto antica, ma anche forse l'ispirazione del mulino a vento in generale. Ma l'origine di questo meccanismo non può essere tuttavia datata. [Nota. L'affermazione di Horwitz e di R. J. Forbes, che intorno al 400 d. C. Fa Hsien lo abbia osservato nell'Asia centrale poggia su un errore di traduzione. Fine nota.] In realtà sembrerebbe che l'idea iniziale di acquistare meriti religiosi con la rotazione di scritture sacre sia cinese e non tibetana. Forse fin dal VI secolo, e senza dubbio dopo l'823, scaffali rotanti, generalmente ottagonali, venivano a volte posti nei monasteri buddhisti della Cina per tenervi il Tripitaka e facilitarne la consultazione. Poiché nell'836 se ne menziona uno presso Suchow con un sistema frenante per arrestarne la rotazione, l'idea primitiva non può essere stata quella di guadagnare meriti spirituali semplicemente facendolo girare. Tuttavia all'inizio del XII secolo una nuova moda di «pietà meccanizzata» percorse la Cina: Yeh Meng-tè (m. 1148) ci dice che «recentemente... in sei o sette templi su dieci si può udire il rumore delle ruote degli scaffali rotanti che girano» certo non come risultato di un'attività di studio. Il fatto che nella moderna Mongolia alcune grandi ruote delle preghiere siano ottagonali suggerisce che nell'Asia centrale tali meccanismi che racchiudono dei mantra, fossero ispirati dagli scaffali rotanti cinesi.

Come si è detto, la prima applicazione della forza del vento ai cilindri oranti è completamente oscura. Nel Tibet i mulini a vento sono usati unicamente così, nella tecnica della preghiera; in Cina sono usati per pompare o per sollevare le barche al di là delle chiuse dei canali, ma non per macinare il grano; [Nota. Nelle Fiandre, forse già dal XII

secolo, i mulini ad acqua venivano impiegati per sollevare i natanti lungo piani inclinati per superare le chiuse. Fine nota.] nell'Afghanistan venivano usati essenzialmente per la preparazione della farina. Da questo si può arguire una diffusione del più semplice meccanismo tibetano in due direzioni, in ciascuna delle quali ha trovato un'applicazione diversa. In Cina non si trovano mulini a vento prima della fine del XIII secolo. [Nota. J. Needham ritiene che l'attrezzatura delle giunche abbia influenzato, in Cina, la forma delle pale dei mulini a vento. Fine nota.] Mulini a vento ad asse verticale, di un tipo simile a quelli del Tibet e della Cina, sono attestati con sicurezza nell'Afghanistan meridionale all'inizio del X secolo, ma non vi sono prove che mulini di questo tipo si siano mai diffusi in altre parti dell'Islam. [Nota. At-Tabari e al-Mas'udi danno delle varianti di un racconto del 664 d.C., nel quale un artigiano persiano in schiavitù fu condannato dal califfo Omar a costruire un mulino a vento. A parte i problemi sollevati da 300 anni di tradizione orale, questi elementi non possono essere impiegati per provare l'esistenza di mulini a vento del VII secolo. H. T. Horwitz conclude che, al contrario, ciò è una prova della loro inesistenza: l'ordine sembra così assurdo che lo schiavo disperato uccide il Califfo. L'asserzione di Ibn'Abd al-Mum 'im al Himayari che «una delle curiosità di Tarragona consiste nei mulini costruiti dagli antichi: essi ruotano quando soffia il vento e si fermano con esso», non può essere applicata con sicurezza al periodo del califfato. Lévi-Provençal sottolinea come la versione che possediamo di questa opera è stata terminata nel 1461, anche se può essere basata su un codice della fine del XIII secolo. Sulla base di una classificazione morfologica dei mulini a vento ispano-portoghesi, F. Krüger suggerisce che, mentre i mulini della Mancina sono di derivazione settentrionale, gli altri della penisola Iberica, delle isole del Mediterraneo e delle Canarie possono forse discendere da un modello più antico ispano-moresco. J. C. Baroja propende per questa interpretazione perché intorno al 1330 Juan Ruiz, arciprete di Hita, dice «Ffazen con much viento andar las atahonas»: la parola moderna tahona, «mulino ad asini», deriva dall'arabico tahuna che al-Maqqadasi usava per «mulino a vento». Il termine arabo non indica però specificatamente «mulino a vento», ma piuttosto qualsiasi mulino azionato da un mezzo diverso dall'acqua: il

Vocabulista in arabo della fine del XIII secolo glossa l'arabo raha con molendinum, vale a dire «mulino ad acqua», ma definisce tahuna come «molendinum bestie, sine acqua». Nel giudicare il problema della diffusione dei mulini a vento, è interessante notare che tutti i mulini a vento del Mediterraneo e della penisola Iberica ruotassero, fino alla metà del XV secolo, su alberi orizzontali. Fine nota.] Per quanto riguarda l'Europa, il primo mulino a vento ad asse verticale appare in un disegno del taccuino inedito di Mariano di Jacopo Taccola, databile al 1438-50. Il mulino a vento tipico dell'Europa è stato un'invenzione indipendente, ispirata forse dal mulino ad acqua normale del tipo cosiddetto di Vitruvio. Una carta di St. Mary presso Swineshead, nel Lincolnshire, databile al 1170, o almeno anteriore all'aprile del 1179, menziona un mulino a vento come se fosse esistito da tempo sul posto, ma delle ambiguità fanno sospettare una interpolazione. [Nota. Recentemente è stata richiamata l'attenzione sulla conferma, da parte di Enrico II, delle proprietà di Swineshead, da R. E. Latham e da M. W. Beresford e J. K. S. St. Joseph; essi citano il Calendar of the Charter Rolls, nel quale il passo in questione identifica certe terre «ubi molendinum ad ventum situm fuerit»: una forma curiosa del verbo W. Dugdale aveva letto semplicemente «situm fuerat». Gli scrittori recenti la datano a non più tardi del 1181, presumibilmente perché aveva avuto per testimonia Roger, arcivescovo di York, morto il 21 novembre 1181; ma aveva avuto per testimonia anche Richard de Luci, che si era ritirato completamente dalla vita pubblica nell'aprile del 1179, ed era morto il 14 luglio dello stesso anno. R. W. Eyton ritiene, sulla base dei testimoni, e della loro presenza simultanea a Windsor, che la carta debba essere del 5 aprile 1170. Il testo sopravvive solo in quanto incorporato in una più ampia conferma delle proprietà di Swineshead fatta da Edoardo II il 20 settembre 1316. Dal momento che non ci è noto alcun mulino a vento fra il 1170 ed il 1185, per quanto ne appaiano di frequente successivamente, è probabile che la clausola che nomina il mulino sia una glossa del XIII secolo, o dell'inizio del XIV, destinata ad identificare la posizione di una terra non adeguatamente descritta dalla conferma di Enrico II, e che questa glossa sia passata nella versione di Edoardo II. Fine nota.] Un mulino a vento della Normandia è menzionato in una carta, a quanto sembra autentica, che Léopold Delisle

ha datato intorno al 1180; [Nota. L'asserzione di S. Lilley che il mulino a vento appare per la prima volta in Europa in una carta del 1105, non è documentata: più di un secolo fa Delisle dimostrò che questo documento deve essere un falso perché nomina un abate di Savigny sette anni prima che l'abbazia fosse fondata. Gli statuti della città libera di Arles, che sono degli anni fra il 1162 ed il 1202, e menzionano «molendina tam aure quam aque», non possono naturalmente essere utilizzati per dimostrare la presenza dei mulini a vento in Provenza prima del 1202; la frase indica tuttavia che intorno a quella data erano dati per scontati nell'area mediterranea. Fine nota.] ma il documento in realtà è privo di data, e potrebbe essere più recente di alcuni anni. Il primo sicuro mulino a vento si incontra in occidente nel 1185 a Weedley, nello Yorkshire, dove era affittato per otto scellini all'anno. Prima della morte di Enrico II avvenuta nel 1189, uno dei suoi conestabili cedette un mulino a vento presso Buckingham all'abbazia di Oseney. Nel 1191 o 1192 Joscelin of Brakelond ne menziona uno come se non fosse una novità. [Nota. The Kalendar of Abbot Samson of Bury St. Edmunds and Related Documents non menziona questo mulino presso Haberdon, ma ci permette di datare con grande probabilità nel 1191 la concessione a vita delle terre di Semer e di Groton, che precede immediatamente l'episodio del mulino a vento nella cronaca di Jocelin. Fine nota.] Nello stesso periodo, secondo la testimonianza oculare di Ambroise nella sua storia della in Crociata, “I soldati germani usarono il loro talento Per costruire il primo vero mulino a vento Che la Siria avesse mai conosciuto”, passo che conferma l'opinione che il mulino a vento europeo non sia venuto dall'Islam. Il fatto che nei sette anni della sua apparizione il mulino a vento fosse stato visto dallo Yorkshire al Levante è un fatto fondamentale per la comprensione del dinamismo tecnologico di quell'epoca. La sua completa integrazione nelle tradizioni medioevali avvenne quando Celestino in (1191-98) decise che i mulini dovevano pagare le decime.

Durante i successivi cento anni i mulini a vento divennero una delle caratteristiche tipiche del paesaggio delle grandi pianure dell'Europa settentrionale, dove essi offrivano ovvi vantaggi dal punto di vista topografico. Inoltre d'inverno, diversamente dal mulino ad acqua, il gelo non ne interrompeva il lavoro. Ne derivò, ad esempio, che

durante il XIII secolo furono costruiti, nelle sole vicinanze di Ypres, ben 120 mulini a vento. I mulini a vento potevano inoltre macinare il grano per un castello assediato: Krak des Chevaliers, in Siria, la più grandiosa fortezza medioevale, terminata intorno al 1240, aveva un mulino a vento entro le sue mura. Nell'Europa mediterranea i mulini a vento si diffusero meno rapidamente che in quella settentrionale, forse perché il problema del gelo non era così grande e forse anche perché in genere i corsi d'acqua erano più rapidi di quelli delle grandi pianure. Tuttavia nel 1319 al più tardi il mulino a vento era tanto familiare in Italia da permettere a Dante di usarlo come metafora nel descrivere Satana che battendo le ali «par di lungi un molin che il vento gira». Nel 1332 un mulino a vento viene menzionato a Venezia, una regione dove sarebbe stato molto utile. [Nota. Nel 1341 i mulini a vento erano conosciuti a Milano. Fine nota.] Ma in particolare nell'Europa meridionale continuarono ad esservi delle zone tecnologicamente ritardate: lo stupore di don Chisciotte per i mulini a vento è giustificato: essi furono probabilmente introdotti nella Mancia solo all'epoca di Cervantes. Nonostante la scarsità di studi fondamentali sul fenomeno, risulta che verso l'inizio del XIV secolo l'Europa aveva fatto progressi straordinari nella sostituzione dell'energia umana con l'energia eolica ed idraulica nelle industrie di base. In Inghilterra, ad esempio, durante il XIII secolo, la follatura meccanica delle stoffe, che sostituì il vecchio metodo di follatura con le mani e con i piedi, costituì un fattore decisivo nello spostamento del centro della manifattura dei tessuti dalle regioni sud-orientali a quelle nord-occidentali, dove l'energia idraulica era più facilmente disponibile. Non che l'Inghilterra fosse particolarmente progredita: nel 1298 i regolamenti della gilda di Spira mostrano che i mulini per la follatura avevano rimpiazzato interamente, anche in quella zona, le tecniche precedenti. Analogamente mulini per concia e per lavatura, mulini per le segherie, per la frantumazione (dalle olive ai minerali), ruote idrauliche azionanti mantici di fornaci, magli di fucine o la pietra smeriglio per rifinire e lucidare armi e corazze, mulini per preparare i pigmenti per i colori, o la pasta della carta o la miscela della birra, si incontravano in numero sempre maggiore in Europa. Questa rivoluzione industriale medioevale, basata sull'acqua ed il vento, sembrerebbe aver raggiunto il culmine di raffinatezza quando nel 1534 l'italiano Matteo dal Nassaro

costruì un mulino sulla Senna, presso Parigi, per la rifinitura delle pietre preziose, per poi vederselo rilevare nel 1552 dalla zecca reale per la produzione delle prime monete «a mulino». Nota. Nel XIV secolo migliori sistemi di taglio per le pietre preziose cominciarono a spostare l'interesse della oreficeria dall'oro e dagli smalti alle gemme. Fine nota.] Il nostro scopo non è di dimostrare lo stupefacente aumento della produttività, ma piuttosto di esaminare il nuovo atteggiamento sperimentale nei confronti delle forze della natura che mise in grado l'Europa medioevale di scoprire e cercar di imbrigliare altre fonti di energia, che sono state poi di grande importanza sociale soprattutto in epoca moderna. L'energia del vapore surriscaldato era stata notata, come mostrano l'eolipila di Erone e molti altri strumenti antichi, nel mondo ellenistico, ma per più di mille anni non si erano fatti molti tentativi per usarla. Dalla Bisanzio del VI secolo, ci viene il racconto di come Antemio di Traile, che fu non solo architetto di S. Sofia, matematico, ed autore di un trattato sugli specchi parabolici, ma anche un burlone, terrorizzasse un suo noioso vicino, Zenone, simulando un terremoto con la pressione del vapore. La descrizione fatta da Guglielmo di Malmesbury nel XII secolo dell'organo costruito da Gerberto nel X è stata intesa nel senso che il futuro papa Silvestro II avrebbe costruito un organo a vapore, ma l'interpretazione è probabilmente inesatta.

Vi è tuttavia un'invenzione antica molto semplice che colpì l'immaginazione dei dotti del tardo Medioevo, e li indusse ad interessarsi in misura sempre maggiore dell'energia del vapore. Vitruvio descrive delle «aeolipilae aerae cavae; hae habent punctum angustissimum, quo aqua infunduntur, collocanturque ad ignem, et antequam calescant, non habent ullum spiritum; simul autem ut fervere coeperint, efficiunt ad ignem vehementem flatum». [Nota. Nel secolo successivo il Pneumatikon di Erone descrive un «samovar» per la produzione di acqua calda da mischiare al vino, nel quale un getto di vapore serviva da mantice. Nessun sistema di questo genere è visibile nelle più antiche raffigurazioni di samovar (del XII secolo) che ho trovato: Biblioteca Vaticana e nove esempi nella Bibliothèque Nationale. Fine nota.] Dopo l'epoca romana non abbiamo più tracce di questo mantice a vapore fino al XIII secolo, quando Alberto Magno ci

dice: «Prendi un recipiente resistente di terra cotta con due buchi, riempilo di acqua, chiudine fortemente i buchi e ponilo vicino ad un fuoco. Subito il vapore sturerà i due fori tappati e spargerà acqua calda all'intorno. Per questo motivo questo recipiente viene chiamato sufflator ed è in genere fatto a forma di uomo.» [Nota. Alberti Magni opera omnia: De meteoris, che attribuisce i terremoti alla forza di vapori sotterranei. Fine nota.] Le ultime parole di Alberto sono significative: Vitruvio aveva pensato al suo sufflator per rappresentare la forza dei venti, ed intorno al XIII secolo la forma della caldaia era stata assimilata agli stereotipi delle teste eolie, dalle cui bocche escono i venti. [Nota. Uno strumento simile viene usato nel Tibet, ma il dr. Douglas Barrett del Department of Oriental Antiquities del British Museum mi ha informato che tutti gli oggetti di questo tipo presenti nella collezione sono a forma di uccelli. In Europa non si hanno indicazioni di sufflatores fatti a forma di animali prima di G. B. Isaachi. Fine nota.] All'inizio del XIII secolo l'immaginazione popolare, nutritasi di tali artifici, cominciò ad attribuire a Gerberto il possesso di una magica testa dorata che gli sussurrava segreti. E lo stesso fu narrato di Ruggero Bacone, di Roberto Grossatesta, di Alberto Magno, di Guido Bonatti ed anche di Virgilio, anche se in questi casi la testa era in genere d'ottone, e doveva essere riscaldata perché bisbigliasse.

Fortunatamente svariati di questi sufflatores a forma di testa umana sono sopravvissuti dal XIII secolo in poi. Essi erano tanto utili che attirarono l'attenzione degli ingegneri militari. Quando venivano posti vicino al fuoco il getto di vapore dalla bocca era diretto verso la fiamma, e, poiché la corrente creata conteneva molta più aria che vapore, essi erano particolarmente utili per la legna verde o per i fuochi degli accampamenti con tempo piovoso. Nel 1405 Konrad Kyeser ne dipinge uno; nel 1464 Filarete descrive una coppia di alari dotati di sufflatores di forma umana, e fra il 1478 ed il 1495 Leonardo da Vinci disegna tre di questi sufflatores con testa d'ottone. I primi esempi di una forma più astratta si trovano nella traduzione di Vitruvio compiuta dal Cesariano nel 1521, nell'opera di Lazzaro Ercker, del 1574, che illustra un sufflator a forma di alambicco per soffiare sul fuoco di una piccola fornace, e, cinque anni più tardi, nel sufflator sferico dell'Isaachi che, egli dice, «soffierà con tanta forza da superare qualsiasi mantice».

[Nota. D. Schwenter e J. French mostrano la difficoltà di prescindere dai «mantici filosofici» medioevali di ottone a forma di testa umana raffigurando sufflatores globulari sui quali erano dipinte facce umane. Fine nota.] Ma la testa medioevale di bronzo rimarrà la forma normale di caldaia, ed ispirerà direttamente le prime turbine a vapore.

In una nota indipendente dai tre disegni, Leonardo suggerisce che un sufflator siffatto possa essere usato per far girare uno spiedo nel focolare. Nel 1629 Giovanni Branca disegna un nuovo meccanismo a vapore, destinato a compiere un lavoro. La caldaia è un sufflator a forma di testa umana, dalla cui bocca fuoriesce un getto di vapore che fa girare una turbina la quale, a sua volta, muove un pestello. Appare chiaro dal testo che accompagna l'illustrazione che a quel tempo anche un ingegnere capace come il Branca - aveva l'incarico della costruzione del più stimato reliquiario del tempo, la Santa Casa di Loreto - pensasse che la caldaia dovesse naturalmente aver forma umana: la macchina «è fatta per pestare le materie per fare la polvere; ma con un motore meraviglioso, che non è altro che una testa di metallo con il suo busto empito d'acqua, posto sopra carboni accesi, che non possa esalare in altro luogo che nella bocca». Ed ancora, nel 1641 Atanasio Kircher mostra un piccolo mulino a vento azionato da getti di vapore che fuoriescono da due sufflatores a forma di testa umana, che nella sua mente sono chiaramente collegati alle teste eolie. Per quanto il Branca considerasse che «l'aria racchiusa» stesse alla pari dell'acqua, del vento e degli animali quale fonte di energia, questi tentativi di imbrigliare il vapore si dimostrarono di poco profitto fino a molto tempo dopo, quando fu inventata la turbina a vapore. I disegni del Branca e del Kircher mostrano tuttavia le radici medioevali degli esperimenti del XVII secolo. [Nota. Le prime pompe a vapore furono brevettate nel 1630 e nel 1661. Qualche cosa del genere si veniva però sviluppando precedentemente nelle miniere dell'Europa centrale. J. C. Poggendorff cita il famoso pastore luterano di Joachimsthal in Boemia, J. Mathesius, che esorta il suo gregge: «Ihr Bergleute sollet auch in euren Bergreyen riihmen den guten Mann, der Berg (Gestein) und Wasser mit dem Wind auf den Platten anrichten zu heben, wie man jetzt auch, doch am Tage, Wasser mit Feuer heben soll!» Inoltre il ceco J.J.V. Dobrzensky descrive macchine che impiegano il calore per sollevare l'acqua in una

maniera analoga a quella di R. D'Acres e di Edward Somerset, marchese di Worcester. Dircks sottolinea il fatto che il sufflator è il principale antenato della macchina a vapore. Fine nota.] La forza esplosiva del vapore era stata osservata nell'età medioevale, come abbiamo visto, nel *De meteoris* di sant'Alberto. Non vi sono tuttavia dei tentativi di utilizzazione fino al disegno di Leonardo, notevole anche se fallito, di un cannone a vapore: un terzo della lunghezza della canna è ricoperto di carboni ardenti; quando la canna è incandescente viene introdotta dell'acqua da un recipiente, e l'istantanea conversione in vapore fa partire la palla. Nel 1521 Cesariano raffigura granate che sembrano esplodere per il vapore.

Connessi all'energia del vapore ed alla confusione fra vapore ed aria sono gli esperimenti con aria calda ed aria compressa. [Nota. R. Hennig e J. Duhem trovano antecedenti dei palloni ad aria calda dei tempi moderni nei dragoni aerei del XV secolo tenuti sollevati da lampade poste nella testa. Essi trascurano però il documento più spettacolare: un dragone, all'estremità di una corda tenuta da tre soldati, che vola su una città assediata e lascia cadere bombe incendiarie. D. Schwenter illustra un dragone di questo tipo guidato da una corda legata ad un rocchetto. Secondo P. Huard, nel 1812 l'armata russa usava ancora dei dragoni di fuoco come armi psicologiche contro l'esercito napoleonico. Fine nota.] Notando la corrente di aria calda che sale nei camini, i tecnici della fine del XV secolo ponevano nella cappa piccole turbine ad ingranaggi per muovere uno spiedo. Era questa una forma piuttosto ingegnosa di automazione, in quanto più caldo era il fuoco, più velocemente avrebbe girato l'arrosto. Nel 1845 padre Huc vide dei nomadi tibetani porre le loro ruote delle preghiere, azionate da una turbina, nella corrente d'aria sopra il fuoco delle tende. Se, come sembra probabile, l'espedito è molto antico, può essere stato diffuso in Europa, dove motivi decorativi tibetani si incontrano nel basso Medioevo. Qualunque sia la loro origine, il disegno del Branca (1629) di un piccolo mulino mosso dall'aria calda che sale da una fucina, indica fino a che punto tali meccanismi influirono sugli ingegneri. [Nota. Branca tentò di aumentare la potenza effettiva riducendo la velocità di rotazione per mezzo di una serie di sei ingranaggi. Fine nota.] Questi esperimenti non riuscirono a rendere disponibile una superiore fonte di

energia, ma crearono un curioso sottoprodotto: l'elica a vite per le navi, e quindi l'elica degli aeroplani, sembrano derivare dalla forma delle turbine metalliche ad aria calda nei camini, piuttosto che dalle turbine idrauliche, che erano di legno e spesso con pale a cucchiaino.

Lo studio della pressione dell'aria da utilizzare nelle armi ad aria si rivelò più importante. Armi ad aria erano, a quanto sembra, usate nell'India antica con il nome di nalika (canna) per lanciare piccole frecce o palle di ferro. È significativo il fatto che nell'India moderna la parola sia venuta a significare «moschetto». Tuttavia, se la nalika è indigena nell'India, è curioso che le cerbottane ancora in uso nell'India meridionale, usate sia con frecce che con palle di creta, abbiano in malayalam (tumbitan) ed in tamil (sungutan), nomi che derivano chiaramente dal malese sumpitan, e che sembrano essere stati introdotti dalla Malesia dai musulmani insieme alla cerbottana stessa. [Nota. R. Heine-Geldern, dell'Istituto antropologico dell'università di Vienna, mi informa per lettera che, secondo la sua opinione, tutte le forme di cerbottana sono state introdotte in India dalla Malesia, e che Hornell è in errore nel credere che il tipo Kadar sia indigeno. Fine nota.] Il problema è complicato da un riferimento casuale all'uso di canne cave per la caccia degli uccelli, che si trova nel libro sulle macchine d'assedio di Apollodoro di Damasco, dedicato, all'inizio del II secolo, all'imperatore Adriano. [Nota. Dal momento che il passo tratta di tubi per combattere con il fuoco, questi non possono essere stati semplici canne coperte di vischio. Fine nota.] I bizantini usavano tubi con i quali lanciavano pece greca, ma questi erano sifoni o proto-cannoni, piuttosto che cerbottane. Alla fine del XII secolo un trattato arabo descrive una lancia che tira piccoli proiettili, e la chiama madfa, termine che è passato ad indicare arma da fuoco. Non più tardi del 1260 circa si trovano in Persia cerbottane che lanciano frecce e che hanno il nome di nawak ossia «tubo». Nell'Egitto dei mamelucchi la cerbottana lanciava piccoli proiettili (bunduq) nella caccia agli uccelli; ed il suo nome arabo zabatana o zabtania, passò in seguito a designare l'«archibugio». [Nota. Ayalon ritiene che un'altra parola per «archibugio» o arma portatile in genere, bunduqiya, sia derivata da bunduq, «pallottola», piuttosto che da al-Bunduqiya. Fine nota.] Eccetto due oggetti enigmatici che appaiono in due miniature del XIII secolo del «Cristo deriso», e che

possono essere delle cerbottane giocattolo, in Europa mancano (dopo Apollodoro) testimonianze di cerbottane fino ad un manoscritto francese del 1320 circa, in cui è una figura grottesca che prende di mira un coniglio con qualcosa che sembra essere una cerbottana. In due manoscritti del 1475 circa, uno francese e l'altro fiammingo, non vi sono possibilità di dubbio: una cerbottana è usata per tirare ad un uccello. [Nota. Ambedue i manoscritti sono di Pietro de' Crescenzi, *Liber ruralium commodorum* (del 1306 circa), ed un esame della tradizione manoscritta dei 132 manoscritti esistenti dell'opera potrebbe gettare luce sulle cerbottane europee. Fine nota.] Ma già nel 1425 il suo nome, cerbottana, si incontra in Italia, ed intorno al 1440 viene dato in Catalogna ad un lungo cannone di piccolo calibro. Il nome è importante perché mostra la linea di diffusione dell'oggetto: viene dall'arabo zabatana, che a sua volta deriva dal malese sumpitan.

Numerose sono le armi ad aria attribuite ad inventori europei del XVI secolo, ma la documentazione è incerta. Nel 1607, tuttavia, Bartolomeo Crescenzi descrive un'arma ad aria dotata di una forte molla a spirale, uno strumento così complesso che deve aver avuto dei predecessori. Nel 1644 Mersenne parla in particolare di «scioperi pneumatici constructio», e quattro anni più tardi Wilkins scrive con entusiasmo di «quella recente invenzione dei fucili ad aria» che sono «quasi uguali ai nostri a polvere». Intorno al 1650 Otto von Guericke, famoso per i suoi esperimenti con il vuoto e le pressioni, costruì la Magdeburger Windbüchse, una delle meraviglie tecniche dei suoi tempi. Nel 1686 Denis Papin, i cui studi sulla motrice a vapore sono della massima importanza, descrisse un fucile ad aria nelle *Philosophical Transactions*. Si può così tracciare a ritroso una catena di spunti tecnologici che da alcune delle maggiori figure della scienza e della tecnologia moderna, attraverso il Medioevo, giunge fino alle giungle della Malesia. [Nota. Una seconda invenzione malese, e non senza rapporti con la prima, il pistone a fuoco, può aver avuto un'importante influenza sulla comprensione, da parte degli europei, della pressione dell'aria e delle sue applicazioni. H. Balfour presenta una cartina della sua distribuzione nell'Asia sud-orientale, che prova che non può essere stato introdotto dall'Europa. D'altra parte tanti europei hanno commerciato, combattuto e dominato le Indie per un periodo così lungo

che, per quanto non sia citato alcun caso, essi devono aver osservato il pistone a fuoco in quell'area prima che esso apparisse in Europa alla fine del XVIII secolo. La più importante applicazione del calore adiabatico è il motore Diesel. Fine nota.] Lo sviluppo dei razzi è un ulteriore aspetto dell'interesse del basso Medioevo per l'energia sviluppata dai vapori e dai gas in espansione. [Nota. Lo sviluppo successivo dei razzi non sembra essere stato influenzato dalla conoscenza che l'antichità classica aveva del principio di reazione, come, forse, nell'uccello meccanico volante di Archita, o l'eolipila di Erone. Fine nota.] Sostanze combustibili e vapori venefici erano stati usati da tempo nella guerra, e continuarono ad essere usati durante il Medioevo. Quando poco prima del 673 l'architetto Callinico, profugo dalla Siria, inventò il fuoco greco, avviò i tecnici militari, non solo di Bisanzio, ma anche dell'Islam, della Cina, dell'Occidente, sulla strada della scoperta di miscele sempre più combustibili. [Nota. Claudiano menziona fuochi d'artificio teatrali a forma di fiaccole; tali giochi pirotecnici si incontrano in poesie cinesi del 605-16 d. C. Intorno al 919 la nafta arabica, probabilmente mischiata a calce viva per facilitare la combustione, veniva usata dagli eserciti cinesi, ed intorno al 1004 questa miscela veniva lanciata da una siringa di metallo o da un tubo simile a quelli usati precedentemente dai bizantini. Fine nota.] Alcune erano liquidi altamente infiammabili, altre polveri. Fra queste ultime una combinazione di carbone, zolfo e salnitro, divenne d'uso sempre più frequente la polvere da sparo; ma essa aveva due difetti: in primo luogo le tecniche di purificazione del salnitro erano imperfette, in secondo luogo la polvere non conteneva spazi di aria, che permettessero una combustione tanto rapida da divenire un'esplosione. Gli esperimenti con queste miscele ed i miglioramenti nei metodi di purificazione del salnitro, giunsero tuttavia a tal punto in tutta l'Eurasia durante il XIII secolo, che la conversione della polvere in gas avveniva tanto rapidamente da rendere inevitabile l'invenzione dei fuochi d'artificio. Le «lance di fuoco volanti» usate nel 1232 nell'assedio di Loyang e di K'ai-feng-fu, non devono essere state niente più che delle candele romane perché lanciavano fiamme solo a qualche decina di passi. [Nota. Le canne di bambù, portate da due soldati e riempite di polvere esplosiva, nel 1132 erano senza dubbio delle candele romane piuttosto che dei

bazookas. Sembra che nel 1259 sia stato usato in Cina un tubo che sparava non solo una specie di fuoco greco, ma anche un proiettile, forse una palla di fuoco, ma, dal momento che il tubo era ancora di bambù, non prevedeva certo una forte esplosione. La valutazione dei documenti cinesi è resa difficile dall'uso frequente della stessa parola per indicare i proiettili e le macchine utilizzate per lanciarli; e, comprensibilmente, non vi è una netta demarcazione fra i materiali incendiari e quelli esplosivi. Ma, intorno al 1231, bombe di metallo o granate con polvere esplosiva, spesso lanciate da un «proto-trebuchet» azionato dall'uomo, erano in uso nell'Asia orientale. Fine nota.] Nel 1258 vengono menzionati a Colonia oggetti che probabilmente erano dei veri e propri razzi, ed intorno al 1260 Ruggero Bacone li conosceva già. [Nota. A. Hausenstein sostiene che verso la fine del IX secolo i bizantini usavano razzi contenenti fuoco greco, e azionati da questo. Il più antico riferimento europeo ad una polvere esplosiva contenente salnitro è quello di Ruggero Bacone, *De secretis operibus*, che parla di petardi e di qualcosa di simile ai razzi. Fine nota.] Per quanto riguarda i razzi, tuttavia, sembra che l'Islam sia debitore all'Estremo Oriente piuttosto che all'occidente: intorno al 1248 il salnitro era conosciuto in Egitto come «neve cinese», e fra il 1280 e il 1295 il siriano al-Hàsan al-Rammah, che propone perfino una torpedine mossa da un razzo, chiama i razzi «frecce cinesi». [Nota. G. Sarton sostiene che il barud non fosse necessariamente salnitro, ma gli sfugge la testimonianza di al-Hassan al-Rammah. Fine nota.] Non vi sono però prove di un'influenza o di una priorità cinese rispetto alle ricerche europee. D'altronde una delle più antiche formule musulmane della polvere da sparo indica una fonte franca. Per quanto si soglia ritenere che i cinesi avessero portato i fuochi d'artificio delle festività ad una perfezione estrema, le elaborate formule pirotecniche descritte nel 1540 da Vannoccio Biringuccio non mostrano traccia di un'ispirazione cinese. [Nota. La grande elaborazione dei fuochi d'artificio nell'epoca barocca è indicata da un volantino di quattro pagine a stampa della Biblioteca Vaticana, che spiega le iscrizioni latine e greche dei vari pezzi. Non ho trovato prove di un'influenza cinese sui fuochi d'artificio occidentali anteriori a G. B. della Porta, *Magia Naturali*, Napoli 1589, che descrive un aquilone con petardi sulla coda. Gli aquiloni erano conosciuti in Cina fin dall'epoca Han almeno.

Secondo A. S. Brock, i fuochi d'artificio per i giorni di festa furono introdotti in Giappone, non dai cinesi, ma, intorno al 1600, dagli olandesi. Fine nota.] Sicché la confusa storia della nascita degli esplosivi e delle armi da fuoco è spiegabile solo come un complesso di esperimenti regionali paralleli, basati essenzialmente sulle varie forme di fuoco greco, con scambi occasionali di miglioramenti tecnici, man mano che i metodi chimici venivano perfezionati.

Nonostante il suggerimento di al-Hàsan al-Rammah, la propulsione a reazione, eccetto che per le frecce di fuoco, non fu messa a punto prima del XV secolo, quando ingegneri italiani cominciarono a meditare sulle sue possibilità. Intorno al 1420 o poco più tardi Giovanni da Fontana disegnò un ariete navale ed un carro armato militare spinti rispettivamente da due e tre razzi. E disegnò anche un pesce che nuota, un uccello che vola ed una lepre che corre, tutti con propulsione a reazione. Sono questi i modelli per il suo *Tractatus de pisce, ave et lepore*, nel quale espone un progetto per la misurazione delle superfici, della profondità delle acque e delle altitudini per mezzo di lepri, pesci ed uccelli a reazione. Che il Fontana pensasse seriamente ai problemi impliciti di questi meccanismi è indicato dal fatto che dotasse il «carro armato» non di ruote, ma di rulli, e l'ariete di una coda stabilizzatrice. Inoltre, per mezzo di una serie di esperimenti, misurò la quantità di esplosivo necessaria per lanciare i razzi a differenti altezze. Alla fine del secolo (1495-1501) Francesco di Giorgio disegnò dei petardi a reazione, montati su ruote, per attaccare le fortificazioni, o su galleggianti, per affondare le navi. L'attuabilità di queste macchine ha un interesse ben minore di quanto non abbia la mentalità che esse rivelano: il fermo proposito di sfruttare una nuova fonte di energia.

Naturalmente una cultura come quella del Medioevo che diveniva così conscia delle possibilità dell'energia, non poteva non esplorare a fondo la forza di quei «draghi di fuoco», che avevano reso possibile il razzo. Mentre la polvere da sparo ed i razzi hanno avuto, a quanto sembra, uno sviluppo internazionale, i cannoni hanno un'origine occidentale, e derivano dalla tecnica bizantina di lanciare il fuoco greco con tubi di rame. [Nota. Alla fine del secolo, Leonis imperatoris *Tactica*, cita tubi «lanciafiamme» anche come equipaggiamento per cavalieri. Wang Ling riporta due passi del 1274 e del 1281 per

dimostrare l'uso del cannone con canne metalliche da parte dei cinesi. Il primo, tuttavia, può essere interpretato come un trabucco che lancia granate a polvere da sparo, il secondo come un tubo di metallo per lanciare fuoco greco. Fine nota.] Che tubi di questo tipo venissero usati in occidente anche dopo l'invenzione della polvere da sparo è indicato dalla distinzione fra *bastons à feu* e *bastons à pouldre*, nei quali ultimi veniva impiegato il ben più esplosivo *fewe volant* invece del *fewe gregois*. [Nota. Nel 1380 la città di Saint-Flour fece delle bombe di pece greca da gettare, con trabucchi, contro gli inglesi, e furono aggiunti a queste bombe dei contenitori con polvere da sparo che dovevano esplodere e spargere la sostanza incendiaria. Fine nota.] Furono gli occidentali che cominciarono a lanciare con questi tubi palle di pietra e di ferro invece del fuoco, anche se la prima raffigurazione di un cannone (1327) mostra il lancio di un'enorme freccia e non di una palla. [Nota. Questo può essere stato suggerito dalle armi a soffio, se le prime cerbottane medioevali lanciavano pallottole e non frecce. Un ulteriore progresso che apre la strada alla palla da cannone fu l'esatta calibrazione delle palle di pietra per i trabucchi, che si trova già nel 1244 in Inghilterra, nella descrizione di un ingegnere. La copiatura del manoscritto iniziò nel 1326, ma, dal momento che era dedicato «ad honorem illustris domini Edwardi dei gracia Regis anglie incipientis regnare», e donato al re, e la raffigurazione dell'arma è nell'ultima pagina, questa non può essere anteriore alla fine del 1327, quando Edoardo III, ancora ragazzo, iniziò il regno. B. Rathgen sostiene che le miniature di questo manoscritto «sind mindestens 75 Jahre junger als die Handschrift selber»; ma si dona un manoscritto incompiuto ad un re? Diels ritiene che questa raffigurazione non rappresenti un cannone a polvere da sparo ma il perfezionamento finale di uno strumento per lanciare fuoco greco insieme con una freccia. Date le importanti testimonianze sui cannoni che si incontrano subito dopo, l'ipotesi sembra forzata. Fine nota.] L'innovazione delle palle da cannone causò delle difficoltà tecniche: in quell'epoca la metallurgia non era alla pari della chimica. Una delle più antiche e dettagliate formule per la polvere da sparo ancora esistenti, quella data alla fine del XIII secolo da Marco Greco, descrive una miscela di grande potere balistico. In seguito la quantità di salnitro venne ridotta, presumibilmente per evitare che i

tubi di lancio scoppiassero così di frequente. Non solo la miniatura del 1327, ma anche la testimonianza immediatamente successiva di un'arma da fuoco, un «pot de fer à traire garros de feu» costruito a Rouen nel 1338, mostra quanto tempo fosse necessario per mettere a punto la palla da cannone. [Nota. Allouche sostiene che la prima documentazione relativa a questa artiglieria risalga all'assedio musulmano di Huescar, del 1324, quando un proiettile arroventato venne lanciato per mezzo di una macchina funzionante a naft. Rathgen, seguendo essenzialmente Romocki, mostra come queste pretese attribuzioni relative al Magrib dell'inizio del XIV secolo si riferiscono tutte al lancio di fuoco greco. Dal momento che il fuoco greco quando viene lanciato manda rumori simili a tuoni, la comparsa di un Johannes Donerschutte de Osterike, a Soest, nel 1330 e nel 1331, non costituisce, da sola, la prova dell'esistenza di cannoni. Fine nota.] Tuttavia dei proiettili di ferro appaiono già nel 1341 a Lucca; nel 1346, in Inghilterra, vi sono due armi che sparano colpi di piombo; e palle appaiono anche a Tolosa nel 1347. In seguito le testimonianze di armi di grosso calibro, ed anche di rudimentali armi portatili, divengono comuni.

I più antichi documenti sul cannone in Cina sono costituiti da esempi chiaramente datati del 1356, 1357 e 1377: ma non è necessario pensare al miracolo di uno sviluppo quasi contemporaneo in Asia. In quel periodo, nel regno degli Yuan vagava uri certo numero di europei, che possono aver portato la nuova tecnologia verso l'est. Stranamente non vi sono tracce di cannoni in India prima del XVI secolo, quando furono introdotti dai portoghesi e, nelle regioni nord-occidentali, dai musulmani.

Il problema della diffusione delle armi da fuoco nell'Islam è complicato dal fatto che il termine arabo naft significa sia «fuoco greco» che «polvere da sparo». Il primo uso certo della polvere da sparo da parte dell'artiglieria saracena si ebbe al Cairo, nel 1366, e ad Alessandria, nel 1376; intorno al 1389 essa era divenuta comune sia in Egitto che in Siria. [Nota. Sarebbe desiderabile avere una datazione più esatta di un'illustrazione, proveniente da un manoscritto arabo attribuito all'inizio del XIV secolo, rappresentante un'arma da fuoco portatile posta all'estremità di un bastone. L'illustrazione può rappresentare un tubo per lanciare fuoco greco. Syed Abu Zafar Nadvi ritiene che le

«pietre occidentali (sang-i-maghribi)» usate nell'assedio di Ranthambur nel 1299-1300 d. C., fossero palle di cannone. Tuttavia le «macchine occidentali (manjaniqha-i-maghribi)» usate in India e nell'Islam dopo il 1220 circa, erano una specie di trabucchi. Fine nota.] L'Islam era dunque arretrato di una quarantina d'anni, all'incirca, rispetto all'Europa.

Il cannone non è importante solo di per sé, come macchina bellica che impiega energia; è anche un motore a combustione interna ad un cilindro, e tutti i motori moderni di questo tipo discendono dal cannone. Il primo tentativo di sostituire con un pistone la palla di cannone, quello di Leonardo da Vinci, prevedeva l'uso della polvere da sparo come combustibile; così pure il brevetto di Samuel Moreland nel 1661, il motore sperimentale a pistone del Huygens del 1673, ed una pompa pneumatica parigina del 1674. E naturalmente la chiara derivazione di tali apparecchi dal cannone continuò ad ostacolarne lo sviluppo fino al XIX secolo, quando i combustibili liquidi sostituirono quelli in polvere.

La principale difficoltà dei costruttori d'armi del basso Medioevo consisteva nel fatto che la loro polvere da sparo era un miscuglio di carbone, zolfo e salnitro, e le scosse, durante il trasporto, portavano il salnitro, più pesante, sul fondo, ed il carbone, più leggero, in superficie; inoltre la mancanza di una quantità adeguata di aria fra le particelle ritardava l'esplosione. Una combustione lenta e relativamente inefficiente costringeva gli artificieri a pressare la polvere nel cannone con un blocco di legno, e chiudere quindi il colpo con stracci o creta allo scopo di contenere il gas finché non raggiungesse la pressione necessaria per il tiro. Questo difficile problema fu in gran parte risolto intorno al 1420, con l'invenzione della polvere da sparo in grani. [Nota. A. von Essenwein sostiene che l'opera di Konrad Kauder, *Peuerwerkbuch*, scritta nel 1429, Biblioteca statale di Monaco di Baviera, cita la polvere in grani. Fine nota.] Mantenendo i tre componenti nel medesimo rapporto in tutta la massa della polvere, e fornendo un'equa distribuzione di più ampi spazi d'aria, la polvere in grani rese l'esplosione uniforme e praticamente istantanea. Il cannone divenne una macchina da guerra efficiente, ed il fatto che così il caricamento potesse essere meno complesso portò le armi da fuoco portatili da un livello di arma psicologica a quello di strumento di uccisione. [Nota. In Inghilterra la prima persona di rilievo uccisa da

un'arma da fuoco portatile fu il duca di Shrewsbury, nel 1453. Un espediente meccanico strettamente collegato all'efficienza dell'arma da fuoco, ma ancora inadeguatamente studiato, è la rigatura. Gli antichi sapevano che un giavellotto scagliato in movimento rotatorio era più preciso di un altro privo di tale movimento. Stephen Grancsay, Curator of Arms and Armours del Metropolitan Museum of Art, mi ha mostrato frecce turche con piume a spirale di data incerta, e piume di questo tipo sono considerate normali da R. Ascham, *Toxophilus, the Schole of Shooting*, London 1545. Si sa, ma senza datazione certa, che alcune balestre del tardo Medioevo lanciavano i proiettili attraverso canne rigate a spirale. L. A. Muratori, *Antiquitates Italiae medii aevi*, Milano 1739, discute di quadrelle rotanti da archibugio, gerectoni, werrestones, veretoni, una parola di origine germanica. Secondo M. Thierbach, piccole armi da fuoco a canna rigata vennero usate in una gara di tiro a Lipsia nel 1498, e da allora in poi divennero comuni nell'Europa centrale per la caccia. Forse a causa del costo della rigatura, le fanterie europee usarono canne lisce fino alla metà del XIX secolo. Immigranti dalla Svizzera e dal Palatinato introdussero la canna rigata nella Pennsylvania, dove fu messo a punto un tipo di canna più lungo, ed un calibro inferiore e più economico, creando così l'arma tipica degli uomini della frontiera. La velocità di carica fu aumentata di molto, mentre veniva ridotta l'usura, adottando una borra di pelle di daino ingrassata, e borre di feltro ingrassate erano state menzionate per la prima volta nel 1644 dallo spagnolo Alonzo Martines de Espinar. La superiorità del fucile a canna rigata della Pennsylvania sulle armi inglesi è stata, secondo alcuni, una delle ragioni del successo della rivoluzione americana. Fine nota.] La forza dell'acqua corrente e del vento, l'energia del gas e dei vapori in espansione conquistarono l'immaginazione dei tecnici del basso Medioevo, e a loro volta furono in parte imprigionate dall'abilità di costoro. Ma, come ben sapevano tutti gli aristotelici, ogni oggetto tangibile tende verso il centro della terra per quella medesima ricerca del luogo naturale che fa scorrere l'acqua a valle. Era concepibile che anche questa forza potesse essere impiegata per azionare le macchine? La stessa violenza della forza di gravità era l'ostacolo principale al suo impiego. A dire il vero gli automi che abbellivano i templi e le corti ellenistiche, dell'antico Iran, di Bisanzio e

dell'Islam erano generalmente azionati dal peso dell'acqua che affluiva in un vaso finché questo non diveniva pesante al punto da abbassarsi ed azionare una leva; ed in unione a questi meccanismi venivano usati pesi di metallo per controbilanciare e mantenere la tensione di corde legate intorno agli assi. Ma la mancanza di un qualsiasi meccanismo di «scappamento», al di fuori dell'acqua e del mercurio, per controllare l'afflusso di energia in un motore, aveva scoraggiato un impiego più esteso della forza di gravità.

Nell'antichità greco-romana si era sviluppata l'artiglieria a torsione, basata cioè sulla torsione di fibre, generalmente capelli. Ma il sistema per quanto fosse adatto alle campagne estive nell'asciutto clima mediterraneo, era di scarsa utilità sotto le piogge dell'Europa settentrionale, dove le fibre bagnate perdevano troppo facilmente l'elasticità.

L'Europa deve alla Cina l'ispirazione iniziale di un nuovo tipo di artiglieria, che sotto il nome di huo-p'ao appare per la prima volta nel 1004 d. C. [Nota. Le prime rappresentazioni cinesi di questa artiglieria sono molto più tarde. L'opinione di Huuri che il «proto-trabucco» a forza umana si diffuse intorno al 700 verso occidente manca di documentazione, come pure l'opinione di F. Lot, secondo la quale i «nova et exquisita machinamentorum genera» usati da Carlo il Calvo nell'873 contro Angers, o le macchine usate dai difensori di Parigi nell'886, erano trabucchi a contrappeso. Fine nota.] La nuova arma consisteva in un grosso braccio con fionda imperniato su di un telaio e azionato da uomini che tiravano all'unisono delle corde attaccate all'estremità del braccio priva di fionda. Essa fa una prima comparsa in Europa in un manoscritto mozarabico dell'inizio del XII secolo, ed appare di nuovo nel 1147 durante l'assalto dei crociati del nord a Lisbona. [Nota. De expugnatione Lyxbonensi, dove era azionata da squadre di 100 uomini, ed era chiamata fionda balearica. Il nome non indica probabilmente una diffusione dalle isole Baleari, ancora musulmane, ma è piuttosto un riferimento all'antica abilità degli abitanti delle Baleari come tiratori di fionda. Fine nota.] Lo sviluppo di questa macchina fu rapido ed internazionale. Un trattato arabo scritto in Siria fra il 1187 ed il 1192 non solo parla di forme arabe, turche e franche della nuova arma, ma ne descrive ed illustra una versione ben più

complessa, attribuita alla Persia, azionata da un contrappeso oscillante. In Europa è conosciuta intorno al 1199 con il nome di trebuchet (trabucco), ed è strano che questa interessante sostituzione della forza di gravità alla forza umana debba essere fatta risalire da fonte siriana all'Iran, perché dopo il 1220 circa le fonti orientali chiamano frequentemente queste macchine maghribi, che significa «occidentale» e forse «franco». [Nota. Johannes Codagnellus, scrivendo prima del 1235, menziona un trabucco a Cremona nel 1199. Per quanto la parola apparentemente derivi dal termine duckingstool (la sedia, in latino cathedra stercoris, legate alla quale si immergevano le meretrici e le aduletere) non ne ho trovato traccia prima del 1205-6, in un accordo raggiunto «de libertatibus francorum plegiorum et furcarum et Trebucheti» a Warlington, nel Suffolk. Fine nota.] Inoltre mentre i trebuchets si diffondono con grande rapidità in Europa, e rimpiazzano rapidamente le vecchie macchine a torsione, la nuova e più potente artiglieria sembra essere entrata a far parte in un modo determinante dell'esercito mamelucco solo nella seconda metà del XIII secolo. [Nota. L'artiglieria a torsione è tuttavia ancora illustrata nel 1327 in Walter de Milimete. Fine nota.] Nel 1276 un artigiano tedesco ed un cristiano nestoriano introdussero in Cina, secondo la testimonianza dei Polo, l'artiglieria a contrappesi, e deliziarono il Gran Khan costringendo con essa una città ad arrendersi. [Nota. I documenti cinesi attribuiscono invece questa nuova macchina, chiamata hui-hui-p'ao, ai tecnici musulmani; cfr. L. C. Goodrich e Feng Chia-sheng. Sfortunatamente questo pregevole articolo non considera l'artiglieria cinese nel contesto dei progressi musulmani e franchi, e ricostruisce quindi erroneamente lo hui-hui-p'ao come un cannone con una canna che può essere alzata od abbassata in modo da regolare la traiettoria del proiettile. Ma, sulla base dei testi portati dagli autori, si tratta del maghribi o trabucco «occidentale» con un contenitore oscillante a contrappeso, che può essere adattato rispetto all'articolazione del braccio, in modo che, variando la lunghezza della leva, si modifichi la traiettoria. Fine nota.] Il trebuchet - abbia avuto origine nel Vicino Oriente o in Europa - è importante quale prima significativa utilizzazione meccanica della forza di gravità. Qui la mancanza di uno «scappamento» non costituiva un ostacolo: la violenza è appropriata alla guerra. Esperimenti moderni

hanno dimostrato che mentre un trebuchet con un braccio di 15 metri ed un contrappeso di 10 tonnellate può lanciare una pietra di 100-150 kg fino a circa 300 metri, una catapulta romana non può far di meglio che lanciare una pietra di 20-30 kg lungo una traiettoria più bassa fino a circa 450 metri, Poiché negli assedi la distanza era meno importante del peso del proiettile, il trebuchet segnò un grande potenziamento dell'artiglieria. [Nota. Intorno al secondo quarto del XIV secolo Giovanni Buridano ci dice che queste macchine potevano lanciare proiettili di 500 kg. Fine nota.] Con un esempio così spettacolare dell'uso della forza di gravità dinanzi agli occhi, i tecnici del XIII secolo tentarono di imbrigliarla per risolvere uno dei loro problemi più pressanti: l'invenzione di un orologio adeguato. Gli orologi ad acqua inventati nell'antichità non erano pratici per il Nord perché d'inverno gelavano; quelli a sabbia, creati per eliminare questo difetto, si dimostrarono inadatti salvo che per misurare brevi lassi di tempo, perché la sabbia allargava lentamente l'apertura attraverso la quale fluiva, e non giaceva in piano nel contenitore inferiore. [Nota. B. R. Motzo cita un'opera poetica di Francesco da Barberino, scritta nel 1306-13, in cui si dice che il navigatore dipende dal compasso, dalla carta e dall'«arlogio», presumibilmente una clessidra a sabbia. Nel 1345, in Inghilterra, è registrato un pagamento «pro XII orologiis vitreis» acquistati in Fiandra per la navigazione. Nel 1374 un orologio per una nave è citato a Colonia. G. P. B. Naish cita un poema spagnolo, El Vitorial, del 1404, che mostra come le clessidre a sabbia venissero usate per accertarsi della direzione e della velocità della nave; nel 1410-12 tali clessidre, chiamate dyalls, compaiono negli inventari inglesi delle navi. Rappresentazioni di orologi a sabbia appaiono per la prima volta nel 1442, in un quadro di Petrus Christus, ora al Detroit Institute of Art, e nel 1440-50, in uno a Norimberga. Solo alla fine del XV secolo la clessidra appare come un attributo del Padre Tempo. Fine nota.] Un misuratore meccanico del tempo azionato a pesi sembrò la migliore soluzione; così i contemporanei di san Tommaso d'Aquino si misero d'impegno per costruirne uno.

Il compito non era facile, e contemplando i superbi risultati si comprende che il Medioevo ha segnato un momento determinante non solo nella ricerca delle fonti di energia, ma anche nell'invenzione dei

mezzi con i quali l'energia può essere controllata e guidata. Ma prima dell'orologio meccanico, dobbiamo esaminare alcuni di questi meccanismi, perché essi ci aiutano a spiegare la nuova atmosfera tecnologica della fine del XIII secolo che rese possibile l'orologio.

Capitolo II

Lo sviluppo della progettazione.

Dopo la ruota, la manovella è il più importante meccanismo elementare, in quanto è il mezzo principale per la trasformazione del moto rotatorio continuo in moto rettilineo alternativo, e viceversa. [Nota. Nessun dato conclusivo sulla storia della manovella ci viene dalle etimologie. Le parole romanze, manivelle, manovella etc, derivano dal latino manubriolum, che indica ogni piccolo manico. Il termine tedesco Kurbel è derivato probabilmente da un ipotetico curvulum latino, «piccolo oggetto ricurvo», piuttosto che dal termine francese ad esso collegato, courbe. L'Oxford New English Dictionary riporta l'anglosassone crancstaef (nell'inglese mod. Crank shaft) da Gerefa dell'inizio dell'XI secolo, e lo fa derivare da una radice che significa «curvo» o «piegato», che sopravvive metaforicamente nel termine tedesco krank. (E. von Erhardt-Siebold descrive come il crancstaef funzionasse come utensile tessile per formare il passo, ed aggiunge che «il naturale momento successivo è attaccare una fune con guida alla manovella e al pedale».) Tuttavia uno strano sviluppo semantico in spagnolo suggerisce la possibilità di un'origine diversa collegata a crane (gru) piuttosto che a crone (vecchia ricurva). Un sinonimo di manivella de maquina è ciguenol, che J. Corominas fa derivare da ciguena o cigona (cicogna o gru), che indica un palo che si muove su di un supporto a forcella per attingere l'acqua dai pozzi e che ha l'aspetto e funziona come una gru. Questo strumento, che è l'antico mazzacavallo è menzionato da Isidoro di Siviglia, Etymologiarum sive originum libri XX, come ciconia, per quanto il termine latino abituale fosse tolleno. Può essere che anche in Inghilterra, come in Spagna (dove il termine crane era usato almeno verso il 1375 ad indicare una macchina per sollevare) la sostituzione del tradizionale mazzacavallo col palo a manovella appoggiato su due supporti a forcella non richiedesse un nuovo termine, e che per un cambiamento semantico il vecchio termine

si sia poi fissato sull'elemento più nuovo del nuovo strumento: il manico a manovella. (Forse l'assimilazione del termine crane con il vecchio crane è stata facilitata dall'introduzione, nell'ultima fase della guerra dei Cent'anni, della ruota dentata a manovella per tendere le balestre chiamata crannequin, parola che E. Littré fa derivare dal basso tedesco Kraeneke «gru», così chiamata per la sua forma.) Non posso tuttavia datare l'origine del comune argano a manovella da pozzo in maniera soddisfacente. Il Princeton Index of Christian Art, che è quasi completo per l'iconografia cristiana fino al 1400, non contiene siffatto strumento: tutti gli argani da pozzo con assi orizzontali sono dotati di manici ad X. Il primo strumento a manovella di questo tipo appare in una miniatura del 1425 c., nell'Hausbuch, della fondazione Mendel a Norimberga. Fine nota.] La manovella rimane un enigma non solo storico, ma anche psicologico; la mente umana sembra infatti respingerla. Il primo esempio certo di moto a manovella ricorre nel già menzionato mantice idraulico del 31 d. C., in Cina, e la prima manovella si incontra nel modello della dinastia Han, proveniente dall'Honan nord occidentale, ora nella William Rockhill Nelson Gallery di Kansas City, che non è posteriore alla fine del II secolo d. C. [Nota. Sono grato alla dr. Annaliese Bulling ed al dr. Laurence Sickman di Kansas City, per le informazioni e le fotografie. Lo stile e l'aspetto sono tali che difficilmente si può dubitare dell'autenticità del pezzo. La Nelson Gallery possiede anche un modello tombale della dinastia Han di una macchina rotante con un foro per un solo manico verticale; un modello analogo si trova anche al Museum of Art di Seattle. Fine nota.] Esso rappresenta una macchina agricola per vagliare il riso, con un vaglio rotante mosso da una manovella. Questo strumento è tuttora usato in Cina, e ricompare stranamente nel 1768 fra i contadini dell'Austria superiore e della Transilvania. Tuttavia uno studioso della tecnologia cinese degli inizi del XX secolo rileva che ancora una generazione fa i cinesi non avevano affatto raggiunto lo stadio nel quale il movimento rotatorio viene sostituito con il movimento alternativo in procedimenti tecnici come il trapano, il tornio, la sega, etc. Per compiere questo passo è necessaria una certa familiarità con la manovella. La manovella di tipo elementare s'incontra nel [moderno] argano cinese, ma quest'uso del meccanismo non sembra, tuttavia, aver dato alcun impulso alla

trasformazione del moto alternativo in rotatorio in altri macchinari». In Cina, dunque, la manovella era conosciuta, ma essa rimase dormiente per almeno diciannove secoli, e le sue infinite possibilità meccaniche d'impiego rimasero sconosciute e non sfruttate. È possibile che essa sia stata del pari conosciuta e negletta nell'antico Occidente? James H. Breasted sostenne che la manovella, come la coscienza, era nata nell'antico Egitto, sotto forma di un trapano a pesi che egli riteneva fosse azionato a manovella. Tuttavia la parte curva superiore di questo trapano è stata ora più probabilmente identificata con un corno di animale che veniva tenuto con la mano sinistra per mantenere fermo lo strumento, mentre la mano destra spingeva i pesi laterali. [Nota. Le incisioni a vite nell'interno di alcuni vasi notate da F. Petrie, possono essere state prodotte dal moto unidirezionale, ma non necessariamente continuo, di tale trapano. Petrie va molto al di là dei documenti disponibili quando identifica «due perni di ferro di un girabacchino» fra alcuni utensili assiri trovati in Egitto. Fine nota.] Dai greci e dai romani non ci è giunta direttamente alcuna raffigurazione di manovella. [Nota. M. A. de la Chausse riproduce un disegno di una gemma intagliata che mostra Cupido mentre appuntisce le sue frecce su una ruota munita di pedale e manovella, e montata su un carretto a mano. Da allora la gemma non è stata più vista. De la Chausse nota: «È da osservarsi questa macchina per arrotare i ferri, simile a quella che si adopera oggi da' nostri rotatori», ed è stato per molto tempo considerato con sospetto. Sia la mola rotante che il pedale sono medioevali e non antichi. A. Schroeder sostiene che la prima vera mola rotante munita di pedale e manovella appare intorno al 1480, in un'incisione su rame di Israhel von Meckemen, mentre la prima mola montata su un carretto a mano si incontra in una incisione di Colonia del 1589. Fine nota.] Tuttavia molti studiosi moderni hanno ricostruito tali meccanismi antichi, come la diottra di Erone, con una piccola manovella sulla vite per la regolazione posta sulla base dello strumento, semplicemente perché secondo loro è questa la maniera nella quale un uomo ragionevole l'avrebbe costruita, e non perché ci rimangano prove di questa manovella. Analogamente i disegni, rinascimentali o moderni, della cosiddetta «vite di Archimede», la mostrano in genere a manovella, mentre tutti gli esempi rimastici, i testi e le pitture antiche,

mostrano come tali strumenti per il sollevamento delle acque fossero azionati, nell'antichità, con i piedi. [Nota. E. Treptow sostiene che nel 1906 un ingegnere minerario di nome Pütz lo informò che, nello sfruttamento di un'antica miniera presso Alcaracejos, nella provincia di Cordoba, era stata scoperta una vite di Archimede di legno, con un perno di ferro alla base ed una manovella, sempre di ferro. Treptow non vide l'oggetto, ma ritenne che fosse romano; tale oggetto non è stato sottoposto ad un controllo archeologico, né è stato pubblicato. Vi sono motivi di ritenere che gli scavi in miniera siano continuati, in Spagna, nel periodo visigoto e musulmano, come anche dopo la Reconquista: Isidoro di Siviglia sembra ben al corrente dell'esistenza di miniere di piombo ai suoi giorni; e sotto i califfi il ferro veniva estratto a Castillo del Hierro, il mercurio ad Almaden, lo stagno ad Algarve, l'oro nei pressi di Cabra e l'argento nei pressi di Murcia. I saraceni lavoravano anche le miniere di Aljustrel, in Portogallo; ed è probabile che furono i portoghesi che introdussero la vite di Archimede con la manovella in Giappone intorno al 1637. Non conosco alcuna vite di Archimede con manovella anteriore al 1405. Quella immediatamente successiva è di R. Valturio, *De re militari*, Verona 1472. Fine nota.] L'affermazione più decisa della scoperta di manovelle in periodo classico è costituita dalle navi di Nemi. Nel 1929 Mussolini cominciò a far dragare il lago di Nemi fino a scoprire gli scafi di due imbarcazioni cerimoniali costruite forse sotto Caligola (37-41 d. C.); e si scoprirono i resti di una catena continua di secchi per svuotare l'acqua di sentina. [Nota. W. Springer sostiene erroneamente che la prima catena di secchi apparve nel *Theatrum instrumentum et machinarum* di J. Besson, Lyon 1578. Sebbene H. Chatley sia probabilmente nel giusto nel sostenere, contro H. P. Vowles, che non si usavano catene di secchi per irrigare i giardini pensili di Babilonia nel VI secolo a. C., nel III o nel II secolo a. C. Filone di Bisanzio descrive un meccanismo siffatto per i pozzi. Una catena di secchi fu scoperta in un pozzo di Pompei (vale a dire anteriore al 79 a. C). Una catena di secchi azionata da una ruota idraulica appare in un trattato del tardo Medioevo. Fine nota.] Questa fu ricostruita non solo con manovelle, ma con le manovelle montate su un volano. Se la ricostruzione è corretta essa segna una tappa nella storia della

tecnologia: ci fornisce infatti la prima manovella dell'Occidente, ed il primo volano del mondo applicato in una operazione complessa.

Gli archeologi occupati nell'impresa di Nemi hanno pubblicato uno scrupoloso elenco nel quale è indicato dove e quando ciascun oggetto fu rinvenuto. In ciascuna delle due navi è stato ritrovato un condotto di legno per svuotare fuori bordo l'acqua della sentina una volta che questa era stata sollevata al livello del ponte. Questo significa che probabilmente ciascuna imbarcazione aveva un solo apparato per il sollevamento dell'acqua. Considerando che queste navi erano ormeggiate in un piccolo lago (1,67 kmq), riparato in un antico cratere privo di emissari naturali, tale dotazione avrebbe dovuto essere sufficiente. Nel 1929, vicino al condotto di scarico della sentina della prima nave, fu trovata una ruota dentata che può legittimamente essere interpretata come parte di una «noria» a tazze. Nel 1931, quando fu esaminato il secondo scafo fu trovato il pistone di una pompa vicino al condotto. In questa seconda nave, ma ad una distanza considerevole dai resti della pompa e del condotto, fu trovato un disco di legno con un foro centrale quadrato, e, vicino al margine, un altro foro quadrato nel quale era inserito quello che sembrava essere un manico. Nonostante l'improbabilità che avessero a che fare con una macchina per sollevare l'acqua anche nella seconda imbarcazione, questi frammenti furono arbitrariamente uniti alla ruota dentata, trovata due anni prima nella prima nave, e venne così ricostruita una «noria» a tazze a manovella, del tutto plausibile per una mente del XX secolo, ma archeologicamente fantastica. Prima di accettare questo disco imperniato ed il suo piolo eccentrico come volano e manovella, dobbiamo apprendere ancora molto sull'evoluzione tecnologica dell'impero romano. [Nota. Qual è la data probabile della pompa e della «noria» a tazze di Nemi? Non sembra verosimile che sia del I secolo a. C. Le due navi erano ben costruite, con lo scafo protetto da, uno strato di tessuto impregnato e da un rivestimento di lamiere di piombo. Esse erano state nell'acqua per un periodo sufficientemente lungo perché un fungo consumasse alcune travi e si rendesse necessario effettuare delle riparazioni. Man mano che le navi invecchiavano i loro custodi devono aver avuto difficoltà con l'acqua di infiltrazione, e devono aver installato un nuovo sistema per eliminare l'acqua dalla sentina. Il santuario di Diana Nemorensis, con il

quale sembra che le navi abbiano avuto rapporti, rimase famoso per lungo tempo. G. B. Rubin de Cervin sottolinea come si siano recuperate con le navi monete del 164 d. C. circa. Si ritiene che esse siano affondate durante l'anarchia del III secolo. Fine nota.] Per giudicare la funzione di questi frammenti è importante notare che il piolo di legno ha una lunghezza totale di 37 cm dal punto in cui si inserisce nel disco, e che nella parte più sottile ha uno spessore di solo 0,83 cm: è così sottile che si sarebbe subito rotto se gli si fosse applicata la forza necessaria a sollevare anche un piccolo peso.

Mancando di precise testimonianze archeologiche sulla manovella nell'antichità classica ci dobbiamo rivolgere a quei testi dai quali si è preteso di poter trarre tale prova. Il problema sta tutto nel significato della parola *cheirolàbe* {in greco nel testo} (o *cheirolabìs* {in greco nel testo}) che ricorre in alcuni trattati meccanici, e, nel problema a questo connesso, se i copisti bizantini e rinascimentali abbiano modificato i disegni di questi trattati aggiungendo manovelle lì dove sembravano loro necessarie.

Mentre *cheirolàbe* etimologicamente potrebbe indicare qualsiasi manico, aveva in realtà il significato specifico di «manico dell'aratro», ciò che ha indotto la maggior parte degli studiosi a darle il significato di «manovella» in un contesto meccanico. Il Cohen e il Drabkin l'hanno tradotta così in un passo della Meccanica di Erone, e in un altro della Diottra, e nel primo esempio riproducono la ricostruzione tradizionale che mostra una manovella. Tuttavia in ciascuno di questi passi *cheirolàbe* può essere interpretata non come manovella, ma come un manico a T applicare sulla terminazione quadrata di un albero invece di forarne l'estremità per inserirvi una traversa per farlo ruotare. È della massima importanza che il disegno connesso al termine *cheirolabìs* che appare una volta sola nella Pneumatica di Erone, mostri chiaramente non una manovella, ma proprio questo manico a T. Questo può ben essere il primo stratum di un disegno non ancora modernizzato. Sfortunatamente, alla maggior parte degli studiosi, fatta eccezione per gli storici dell'arte e gli archeologi, è stato insegnato ad osservare attentamente le parole piuttosto che le cose o le immagini. [Nota. Nella prima edizione della *History of Mechanical Inventions*, New York 1929, A. P. Usher asserisce, senza tuttavia discuterne, che «nessuna

forma di moto "a manovella" appare in alcun documento», proveniente dall'antichità; tuttavia nelle illustrazioni 13, 15, e 30 mostra macchine antiche ricostruite con manovelle. Evidentemente nessun recensore ha segnalato la contraddizione, giacché essa riappare nella nuova edizione del 1954, Cambridge, Mass. Fine nota.] Gli editori hanno concentrato la loro attenzione sulle varianti testuali piuttosto che su quelle iconografiche, nella trasmissione dei trattati greci di meccanica. Tutti i manoscritti rimastici di queste opere provengono da epoche nelle quali la manovella era conosciuta, e finché la tradizione delle loro illustrazioni non sarà stata analizzata accuratamente, questi disegni non potranno essere utilizzati quali prove che nel periodo classico del Mediterraneo la manovella fosse conosciuta. [Nota. F. W. Galpin afferma che le illustrazioni attuali che accompagnano le descrizioni dell'organo ad acqua di Erone e di Vitruvio sono rappresentazioni fantastiche effettuate dal XIV secolo in poi. Fine nota.] Se non la manovella in sé, è possibile trovare degli esempi di moto «a manovella» nell'antichità, fuori della Cina? La prima sicura apparizione di un moto «a manovella» si trova nell'uso delle macine a mano: [Nota. Un'urna della cultura di Hallstatt proveniente dall'Ungheria mostra una biella, con una manovella a ciascuna delle estremità per facilitare la tessitura. Tale oggetto è chiaramente identico al crancstaef anglosassone del 1000 d. C. circa, ma in nessuno dei due casi vi è traccia del moto rotatorio continuo. Fine nota.] le due più antiche macine per macinare, il mortaio e la macina a sella, comportano entrambe il moto alternativo: per pestare o per macinare. Nella regione dell'Egeo e del mar Nero la pietra superiore della macina a sella venne gradualmente incavata per servire da tramoggia. Da questa derivò il mulino «a leva», nel quale il manico della pietra superiore era fissato da una parte alla pietra in modo da poter manovrare meglio di leva tirando e spingendo con l'altra estremità. Verso l'VIII secolo a. C. numerosi esperimenti con le macine a tramoggia portarono il manico al centro della pietra superiore, creando così la macina vera e propria e, infine, le grandi macine a forma di clessidra ruotate da muli o da schiavi, che, imbrigliati a stanghe radiali, giravano continuamente intorno alla macina. Ma, mentre questa grande mola versatilis adottava il moto rotatorio continuo, cosa che naturalmente avveniva anche nel mulino ad acqua del I secolo a. C., non

è assolutamente chiaro quando tale moto fu adottato per la prima volta dalle macine. [Nota. R. J. Forbes, affermando che «la prima testimonianza letteraria attendibile circa l'esistenza di una mola girevole a mano nella campagna romana risale a Virgilio (70-19 a. C.)», non tiene conto del fatto che il *Moretum* (in *Appendix Vergiliana*, ed. O. Ribbeck, Leipzig 1868), non è stato scritto da Virgilio, che la sua datazione è incerta, e che è stato inserito per la prima volta fra le opere di Virgilio nel catalogo della biblioteca dell'abbazia di Murbach del IX-X secolo. F. L. Douglas tenta di dimostrare che il *De cultu hortorum* del Columella sia in parte basato sul *Moretum*, come è esplicitamente basato sulle *Georgiche* e sulle *Bucoliche*. Ma, anche se si stabilisse una qualsiasi relazione fra le due opere, cosa del resto discutibile, sarebbe egualmente possibile che l'autore del *Moretum* avesse trovato ispirazione in Columella. Se Columella, infine, sapeva che il *Moretum* era di Virgilio, è strano che Servio non ne avesse notizia. Fine nota.] Solo recentemente gli archeologi si sono accorti che, dal momento che i ritrovamenti di macine sono molto comuni, se fosse possibile tracciarne dei modelli di sviluppo, questi sarebbero della massima utilità per le datazioni e per ricostruire le influenze culturali. Pochi studiosi che si sono accostati al problema si lamentano in genere della scarsa cura con cui spesso vengono registrate le stratificazioni relative alle macine; tuttavia neppure quell'illuminata minoranza di studiosi che ha rivolto la propria attenzione alle macine ne ha riconosciuto l'importanza dal punto di vista della meccanica applicata. Le ricostruzioni delle parti in legno distrutte mostrano quasi sempre un manico verticale, che è il manico oggi adottato: ma le cose erano in realtà meno semplici.

Per molte generazioni non si comprese che il grano viene macinato non tanto dal peso della pietra superiore quanto dal movimento, e che la farina tende comunque ad uscire dai lati sia con una pietra inferiore piana che con una conica. Di conseguenza le prime macine erano piuttosto pesanti, ed il manico, o i manici, erano inseriti orizzontalmente nel lato della pietra superiore, come le stanghe laterali di un mulino a maneggio. Con tali macine i mugnai adottavano un movimento oscillante, in avanti e all'indietro; tre di queste macine sono state trovate in situ a Vetulonia, così accostate alle pareti che la

rotazione completa sarebbe stata impossibile anche se la posizione delle mani venisse mutata durante la rotazione.

Con il passar dei secoli le pietre delle macine divennero sempre più piane e più sottili. A volte il foro nel lato della pietra superiore veniva curvato in su, fino a spuntare nella parte superiore, ed una corda passata attraverso i due fori serviva da manico: ma il modo in cui sono consumati i bordi dei fori indica che il moto era ancora alternativo. [Nota. P. Orsi sostiene di aver trovato un esempio di questo tipo in una stratificazione tra il Siculo III ed il Greco arcaico. V. G. Childe suppone erroneamente l'esistenza di un solco per impugnatura verticale in tale macina, che «verrebbe quindi classificata in Inghilterra al più presto come romano-britannica». Fine nota.] Man mano che la pietra superiore diveniva più leggera era sempre più difficile inserirvi orizzontalmente il manico, il cui angolo, spostandosi verso l'alto, finirà per fargli assumere una posizione verticale.

Ora, finalmente, con un manico verticale diviene possibile la rotazione continua della macina con moto «a manovella». Ma quando ciò avvenne effettivamente? Ancora nel XIX secolo nelle isole Shetland le macine venivano frequentemente azionate da due donne con un movimento di avanti e indietro. [Nota. Questo spiega senza dubbio la Canzone della macina, un canto norvegese del X secolo, che parla di un re che teneva due vergini giganti in prigionia, al lavoro intorno ad una macina che produceva polvere d'oro. Fine nota.] Inoltre quando si ritrovano, come avviene frequentemente, due fori verticali sulla pietra superiore, o due scanalature sui lati opposti, non è affatto sicuro che si usassero manici verticali; più probabilmente una barra orizzontale, fissata per mezzo di questi solchi o scanalature si prolungava lateralmente a guisa di manico. [Nota. Sulla base di ritrovamenti presso Numanzia ed in Aragona, Childe conclude che «è esistito in Spagna, intorno al II secolo a. C., un gruppo di macine, del tutto distinte da quelle celtiche ed ellenistiche di forma conica, più basse e dotate di manici verticali». Ma A. Schulten mostra i frammenti «meglio conservati» di macine trovate nel campo romano. Di queste solo una ha il foro nella parte superiore della pietra, e, dal momento che non ci rimane che un quarto della pietra, essa può ben aver avuto un secondo foro nel lato opposto. Nessuna conclusione si può ovviamente trarre

sulla base di questo materiale. Per quanto riguarda l'altra fonte di Curwen, R. Bosch Gimpera fornisce la sezione base per la figura 1 del Curwen; tuttavia, nella fig. 492, Bosch Gimpera ricostruisce le parti perdute di legno della macina non con manici verticali, ma con una barra orizzontale attaccata per mezzo di pioli inseriti in fessure ai lati opposti della pietra. È dunque improbabile che in Spagna, intorno al II secolo a. C., si usassero macine con manici verticali. Fine nota.] Solo quando ci troviamo di fronte ad una pietra superiore completa che presenta un solo foro verticale, possiamo ritenere che il manico fosse disposto in modo tale da permettere il moto «a manovella».

La datazione di queste macine è tuttavia molto incerta. A Saalburg, nel limes, si sono trovate più di cento macine dal I fino alla fine del III secolo d. C., che presentano tutti solchi laterali piuttosto che verticali. [Nota. L. Jacobi rifiuta correttamente alcune ricostruzioni di macine di Saalburg che comportano manovelle come «del tutto congetturali», e basate sull'analogia con macine medioevali. Fine nota.] Ho visto all'università di Yale una macina non pubblicata con un solo foro verticale per il manico, trovata a Dura Europos, e che risale quindi al più tardi al 256 d. C. Vorremmo però esser certi della sua stratificazione, e che non sia stata abbandonata a Dura da viaggiatori che sostarono fra le rovine; un esperto sostiene infatti che tali macine erano sconosciute in Palestina ed in Siria prima dell'età musulmana. [Nota. Tali macine erano conosciute in Cina al più tardi verso la fine del II secolo. H. D. Sankalia parla di solchi trasversali per manici che risalgono a non più tardi del II-I secolo a. C. Non so quando il manico verticale abbia raggiunto l'India. Fine nota.] Discussioni successive non hanno invalidato l'ipotesi di Cedi Curwen, avanzata nel 1937, che le macine con un solo manico verticale siano, almeno in Inghilterra «di tipo tardo o post-romano». [Nota. R. E. M. Wheeler data al 25-50 d. C. una macina con «il solco originariamente sul lato, consumato dalla continua macinazione, e sostituito con un foro nella parte superiore». Tuttavia l'illustrazione 116, n. 23 che riproduce la macina in questione mostra come ne sia rimasto solo un terzo; essa potrebbe quindi aver avuto una presa orizzontale fissata a due scanalature, ai lati opposti della circonferenza. W. E. Griffiths data queste macine piuttosto vagamente al 200-600 d. C. Fine nota.] Seduto di fronte ad una macina ad un

solo manico verticale, un uomo del XX secolo le imprimerebbe un movimento rotatorio; è molto sicuro, però, che un uomo della decadenza dell'impero romano avrebbe fatto altrettanto. Il movimento «a manovella» è stata un'invenzione cinetica ben più difficile di quanto si possa immaginare. Tuttavia ad un certo punto il senso di quale fosse il movimento più appropriato mutò, e dalla macina rotante scaturì una nuova macchina: la mola rotante che, come indica il termine latino *mola fabri*, è la pietra superiore di una macina fatta ruotare verticalmente e resa atta ad affilare. Con la mola rotante appare in occidente la manovella.

Il Salterio di Utrecht, miniato nella regione di Reims fra l'816 e l'834 mostra sia la prima mola rotante, che la prima manovella europea. [Nota. Per quanto il miniaturista basasse il suo lavoro, sia direttamente che indirettamente, su un salterio oggi scomparso forse dell'inizio del V secolo, non dobbiamo attribuire questo dettaglio al suo prototipo. Wheeler riporta tre mole (presumibilmente non mole per affilare a umido) ritrovate a Maiden Castle, ma non tenta di datarle esattamente. La maggior parte dei ritrovamenti del luogo non sono posteriori al I secolo d. C., ma vi è materiale del IV secolo, ed una tomba sassone del 600 circa. Considerata la probabile sopravvivenza delle mole, si rimane sconcertati dal silenzio degli archeologi, una volta ammessa la loro esistenza in epoca romana e nell'alto Medioevo. Fine nota.] La manovella meccanica è qualcosa di straordinario non solo per la sua tarda invenzione, o per l'origine cinese, ma anche per il ritardo quasi incredibile con il quale, una volta inventata, è stata assimilata dal pensiero tecnologico. Dopo la mola, l'applicazione successiva si ha nell'organistrum. [Nota. Il moto rotatorio continuo non è necessario nelle operazioni di formazione del passo del *crancstaef* anglosassone. Fine nota.] Un breve trattato musicale, attribuito con molta incertezza all'abate Oddone di Cluny (m. 942), descrive uno strumento a corda con tasti che veniva suonato per mezzo di una ruota di resina azionata da una manovella. Non si ha tuttavia alcuna rappresentazione di questo strumento anteriore al XII secolo, quando se ne incontrano due. Sempre del XII secolo è un'immagine della Fortuna che fa girare con una manovella la ruota del destino; ma, cosa davvero divertente, il miniaturista sembra proprio ignorare il funzionamento della manovella.

Il XIII secolo non ci offre che qualche altro organistrum, ed un'altra Fortuna che manovra una manovella, che questa volta funziona bene. [Nota. Geoffrey Ashburner mi ha gentilmente inviato la fotografia di un esempio che si incontra nel Salterio di Robert de Lindseye, un manoscritto inglese del 1220-2, ora nella biblioteca della Society of Antiquaries di Londra. Il fatto che questi quattro organistra, eccetto il primo, siano inglesi, e che gli esempi inglesi vengano dalla prima metà del secolo, può significare che intorno al 1200 l'organistrum stava passando di moda nell'Europa continentale, ma continuò a lungo ad essere popolare al di là della Manica. Fine nota.] Nonostante un'innovazione teorica rivoluzionaria, della quale parleremo fra breve, il XIV secolo non presenta niente di nuovo nel campo delle applicazioni. Il martinetto a manovella per caricare la pesante balestra di acciaio è spesso fatto risalire al XIV secolo, e nella Cambogia, del XIII secolo, troviamo una grande balestra khmer, azionata da due uomini con due manovelle. [Nota. Tuttavia R. Valturio, De re militari, Verona 1472, mostra una balestra la cui corda viene tesa da una vite non a manovella ma azionata da una manopola ad X. P. Mus sottolinea che niente di questo genere si trova ad Angkor Wat, il che indica una rivoluzione nell'armamento khmer fra il XII ed il XIII secolo. H. G. Q. Wales la ricollega ad un ufficiale dell'esercito cinese naufragato in Cambogia nel 1172, che consigliò il re nell'attuazione di riforme militari. Fine nota.] Per l'Europa, tuttavia, non si hanno testimonianze sicure prima del 1405 circa, quando le inedite illustrazioni di Konrad Kyeser al Bellifortis riproducono cinque differenti strumenti a manovella destinati a questo scopo. Il Kyeser illustra solo tre altre applicazioni molto semplici della manovella; per il resto, da quei tempi non è rimasto niente di più eccitante di un aspo a manovella per avvolgere matasse di filo. [Nota. Intorno al 1462 aspi a manovella si incontrano in Cina. Fine nota.] All'inizio del '400, almeno dodici secoli dopo la sua scoperta in Cina, e sei dopo la prima comparsa in Europa, la manovella era ancora praticamente inutilizzata nella tecnologia. E, per quanto riguarda l'Islam e Bisanzio, non trovo testimonianze certe, anche della più semplice applicazione della manovella, prima del libro di al-Jazari del 1206 d.C. [Nota. Tuttavia il fatto che al-Jazari non abbia afferrato interamente il significato della manovella per collegare il moto alternativo con il moto

rotatorio è dimostrato dalla sua pompa straordinariamente complessa, azionata da una ruota dentata montata eccentricamente sul suo albero. L'albero gira in un manicotto da una parte, ma dall'altra estremità in un anello aperto, e dal momento che esso non passa attraverso il centro della ruota dentata, compie un'orbita conica al girare della ruota. Questo movimento dell'albero è trasformato in movimento alternativo per mezzo di una biella verticale, imperniata in basso, ma con una fenditura alla sommità, che stringe l'albero e oscilla avanti e indietro con esso. Per mezzo di collegamenti laterali questa biella oscillante aziona le pompe. Dopo al-Jazari non ho trovato manovelle islamiche fino ad un disegno di un manoscritto risalente all'inizio del XV secolo contenente la traduzione araba, della fine del IX secolo, della Meccanica di Erone. C. Daremberg e E. Saglio mostrano un trapano a manovella singola per trapanazioni chirurgiche «des manuscrits d'Albucasis», il grande chirurgo ispano-musulmano che morì nel 1013 d. C. circa. Questo strumento non si trova nella tradizione straordinariamente uniforme delle illustrazioni pubblicate dalle opere di Abu'l-Qasim, rappresentate da *Albucasis chirurgicorum... libri tres*, Strassburg 1532. Fine nota.] Durante il XIV secolo stava però germinando qualcosa di nuovo. Nel Salterio Luttrell, databile intorno al 1340, troviamo una mola, allora in uso, azionata da due manovelle, ciascuna all'estremità del suo albero, come nel caso della balista cambogiana appena ricordata. [Nota. Il mulino a mano con ingranaggi, dotato di una o due manovelle, non appare prima del XV secolo. Fine nota.] Nel 1335 il famoso medico italiano Guido da Vigevano, che viveva allora a Parigi, inserisce nell'inedito *Texaurus regis Francie acquisitionis terre sancte*, volto ad incitare Filippo VI ad una nuova crociata, un capitolo sulle macchine militari progettate per sottomettere i pagani, probabilmente inventate da Guido stesso. In due illustrazioni del manoscritto egli ha combinato, con geniale intuizione, le due manovelle che erano all'estremità dell'albero nella mola tipo Luttrell, per formare una manovella composta al centro dell'albero. [Nota. A. R. Hall indica un secondo manoscritto dell'opera, con illustrazioni di manovelle composte, copiato nel 1375, a Cipro, da un certo Martino di Aquisgrana, per altri versi sconosciuto. Hall asserisce correttamente che l'opera di Guido non fu interamente dimenticata: essa influenzò Valturio intorno al 1463. Fine nota.] Guido

era una delle menti più avventurose della sua epoca, ed uno studioso moderno ha dichiarato che «è evidente che egli possedeva una notevole abilità tecnica». Non vi è però nessuna prova che le macchine da lui progettate siano state mai realizzate; i suoi disegni mostrano tuttavia che nuove idee sulla manovella erano nell'aria.

La prima applicazione pratica della manovella composta, il girabacchino, fu inventata intorno al 1420 da un artigiano fiammingo. 222. [Nota. Il termine francese vilebrequin «girabacchino» è di origine fiamminga, dalla quale deriva il catalano filabarquì o belebarquì, lo spagnolo berebiquì ed il portoghese berebequim. H. Gade data l'apparizione della parola fiamminga wimbrequin al 1432. Fine nota.] La prima raffigurazione di tale oggetto ricorre in un pannello dell'altare di san Tommaso, di Meister Francke, commissionato nel 1424; la seconda, nell'altare de Mérode, del Maestro di Flemalle del 1427-8; la terza in una miniatura francese o borgognona del, 1430 del Messale Bedford. [Nota. Secondo il Catalogue of Additional Manuscripts del British Museum, lo Add. Ms. 18 850 fu eseguito per John, duca di Bedford, e reggente di Francia, e per la moglie Anna, figlia di Giovanni, duca di Borgogna, quando si sposarono nel 1430. Esso fu quindi donato ad Enrico VI di Inghilterra da Anna, la vigilia di Natale del 1430. Il quarto girabacchino conosciuto è di una miniatura francese del 1460 circa. Il quinto è in una stampa fiamminga della bottega di falegname di san Giuseppe, effettuata nel 1480-1500. Fine nota.] Da tale distribuzione appare evidente che la manovella composta a forma di girabacchino è originaria dell'Europa settentrionale. La sua prima comparsa in Italia, nel taccuino di Giovanni da Fontana del 1420-49 circa, dimostra che Fontana non l'aveva vista direttamente, ma aveva soltanto sentito parlare di un succhiello a manovella, ed il suo schizzo rappresenta un attrezzo che non può funzionare.

Ma ora, finalmente, l'idea della manovella, a lungo sopita in Europa, cominciava improvvisamente a destarsi. Intorno al 1430 la manovella composta era stata trasferita dal girabacchino al progetto di una macchina di un tipo senza precedenti, a giudicare dal taccuino di un ingegnere militare tedesco delle guerre ussite. In primo luogo alla manovella fu applicata la biella, sostituto meccanico del braccio umano; in secondo luogo apparvero manovelle doppie collegate, sempre dotate

di bielle. [Nota. Una possibile origine della biella è suggerita da P. Tohell, che descrive una grande macina girevole in funzione verso il 1900 nella contea di Sligo: ad un manico verticale erano legate quattro funi, ciascuna delle quali veniva tirata, alternativamente, da quattro uomini posti intorno ad un cerchio. Fine nota.] In terzo luogo alle manovelle fu applicato il volano, in modo da eliminare il «punto morto», che rappresenta la maggiore difficoltà del moto meccanico della manovella. [Nota. Il Bellifortis di Kyaser, del 1405 circa, mostra un trabucco gigantesco con qualche cosa che sembra più delle ruote calcatone che non dei volani, nell'apparato per abbassare il braccio di lancio. Fine nota.] Il primo esempio di manovella composta e di biella, in Italia, si trova in un manoscritto di Mariano di Jacopo Taccola, che non è anteriore al 1441, né posteriore al 1458, ma il disegno dimostra una scarsa comprensione del movimento. Tuttavia un disegno, ora al Louvre, del Pisanello, che morì intorno al 1456, e non viaggiò mai fuori dell'Italia, raffigura lucidamente una pompa a pistone mossa da una ruota idraulica, ed azionata da due manovelle semplici e due bielle.

E in effetti il successivo, e forse l'ultimo fondamentale passo nella ricerca delle possibilità cinetiche della biella e della manovella può essere attribuito all'Italia. Intorno al 1430 l'ingegnere militare tedesco delle guerre ussite aveva riesumato l'idea di Guido da Vigevano, pubblicata originariamente in Francia, di una barca con due coppie di ruote a pale mosse da uomini che azionavano una manovella composta sull'albero di ciascuna coppia di ruote. [Nota. Leonardo schizzò un carro militare destinato ad essere mosso da coppie di ruote collegate da assi dotati di manovelle composte; ma, a dimostrazione che anche Leonardo poteva sbagliarsi, B. Dibner mostra come gli ingranaggi siano sistemati in maniera tale che le ruote davanti e quelle dietro ruoterebbero in senso inverso. Fine nota.] Solo una generazione più tardi, nel 1463, Roberto Valturio mostra come l'idea non solo sia conosciuta, ma anche sia stata perfezionata in Italia: raffigura una barca con cinque coppie di ruote, nelle quali le singole manovelle sono collegate ad una fonte d'energia unica per mezzo di una biella. [Nota. Il De re militari del Valturio che raffigura questa barca, fu pubblicato a Verona nel 1472. Fine nota.] Questo accorgimento per trasferire il moto rotatorio ad un piano

parallelo appare anche in un manoscritto fiorentino del Trattato di architettura (1482-1501), di Francesco di Giorgio. [Nota. La stessa soluzione appare poco dopo in un disegno di Leonardo da Vinci di una pompa centrifuga per sollevare l'acqua. Fine nota.] Anche se non vi sono esempi antichi di manovelle composte in Cina è stata scoperta una manovella singola con biella, utilizzata in un mulino a mano per la scortecciatura del riso, intorno al 1462, se così possono essere interpretate le illustrazioni simili, di un'edizione giapponese del 1676, e di un'edizione cinese del 1696, derivate ambedue, indipendentemente, da un'edizione di quella data. [Nota. O. Franke forza i documenti affermando che la ristampa giapponese del 1676 (che comporta nuovi clichés) della edizione cinese del 1462 riproduce le illustrazioni dell'edizione del 1237: in primo luogo l'edizione del 1462 rese necessaria una rielaborazione delle illustrazioni precedenti; in secondo luogo l'edizione giapponese contiene un aspo per l'avvolgimento della matassa che non si trova nell'edizione cinese del 1696, e che quindi deve essere un'aggiunta giapponese. Fine nota.] Gli studiosi di meccanica applicata sono d'accordo sul fatto che «il progresso meccanico che contraddistingue l'epoca moderna è il passaggio dal moto alternato al moto rotatorio», e la manovella è il presupposto di questo sviluppo. La comparsa, intorno al 1420, del girabacchino, ed intorno al 1430, della manovella composta doppia e della biella, segna il passo più importante nella rivoluzione della progettazione delle macchine del basso Medioevo. Questi meccanismi furono assimilati con straordinaria rapidità dal pensiero tecnologico europeo, ed ebbero un larghissimo campo di applicazione. [Nota. B. Gille sostiene che la combinazione biella e manovella è stata adottata solo molto lentamente: «la manovella e la biella raramente vennero combinate insieme perfino nel diciassettesimo e nel diciottesimo secolo». Il suo giudizio può essere stato influenzato da un fatto davvero assurdo, che corona la storia della manovella, avvenuto nell'agosto del 1780, quando James Pickard di Birmingham riuscì a brevettare la manovella e la biella che aveva applicato alla macchina a vapore, rendendo così possibile utilizzare l'energia del vapore per il moto rotatorio e per i trasporti. Gille considera Leonardo un precorritore per il suo interesse per la combinazione della manovella e della biella: essa era tuttavia comune ai

suoi tempi: oltre agli otto esempi europei già citati, vedi il rilievo di Francesco di Giorgio di una sega idraulica (1474) ad Urbino, i suoi disegni per un progetto analogo, ed il suo manoscritto del 1482-1501, e, a nord delle Alpi, intorno al 1480, il *Mittelalterliches Hausbuch*. Un esame completo della letteratura tecnologica del XVI e XVII secolo consentirebbe di scoprire molti altri esempi di manovelle con bielle; i seguenti esempi saranno tuttavia sufficienti a provare che la tesi del Gille è priva di fondamento: un disegno di Giulio Campagnola, datato a prima del 1514; V. Biringuccio, *Pirotechnia*, Venezia 1540; G. Agricola, *De re metallica* del 1556; C. Piccolpasso, *Li tre libri dell'arte del vasaio*, scritto nel 1556-9; J. Besson, *Theatrum instrumentorum et machinarum*; A. Ramelli, *Le Diverse et Artificiose Machine*, Paris 1588; M. F. Pisek, *Un manuscrit en langue tchèque provenant de la seconde moitié du XVIe siècle sur l'art de la fonderie*; V. Zonca, *Novo teatro di machine*, Padova 1607; Biblioteca Vaticana, Barbarini lat. 4353, taccuino di un ingegnere anonimo della fine del XVI o dell'inizio del XVII secolo, che ho consultato nella Vatican Film Library; B. Lorini, *Delle fortificationi*, Venezia 1609; H. Zeising, *Theatrum machinarum*, Leipzig 1612-14; F. Veranzio, *Machinae novae*, Venezia 1615-16; G. Branca, *Le Machine*, Roma 1629; J. Wilkins, *Mathematical Magick*, London 1648; E. E. Lohnejss, *Bericht vom Bergwerk*, Hamburg 1660; G. A. Bockler, *Theatrum machinarum novum*, Nürnberg 1661. Fine nota.] Come è possibile spiegare il ritardo di tanti secoli, non solo nella scoperta iniziale della manovella semplice, ma anche nella sua elaborazione e applicazione su vasta scala? Il movimento rotatorio continuo è tipico della materia inorganica, mentre il moto alternativo è l'unica forma di movimento che s'incontri nelle creature viventi. La manovella collega questi due tipi di moto, perciò noi, che apparteniamo al mondo organico, troviamo che il movimento a manovella non ci riesce facile. Il grande fisico e filosofo Ernst Mach notò che i fanciulli trovano difficile imparare il moto a manovella. Nonostante la mola rotante, anche oggi i rasoi vengono affilati anziché arrotati: il movimento rotatorio si scontra con la nostra più profonda sensibilità. Così l'organistrum venne subito in disuso quale strumento per la musica seria, lasciando all'archetto a movimento alternativo - introdotto nel X secolo [Nota. Madrid, Biblioteca Nacional, Codex Hh

58, Beatus in Apocalipsin, dell'inizio del X secolo, mostra quattro archetti musicali di forma molto primitiva. Fine nota.] - il compito di divenire il fondamento dello sviluppo musicale dell'Europa moderna. Per usare una manovella i nostri muscoli ed i nostri tendini devono uniformarsi al moto delle galassie e degli elettroni; la nostra specie ha a lungo indugiato di fronte a questa avventura «inumana». Approfondendo i problemi del moto rotatorio continuo i tecnici scoprirono che i volani ed altre forme di regolatori meccanici erano necessari per eliminare l'irregolarità dell'impulso e per superare i «punti morti». Il volano appare per la prima volta alla fine dell'XI secolo quale elemento di una macchina in un trattato di tecnologia del monaco Teofilo, il quale parla di una «rotula sive lignea sive plumbea tornatilis» sull'albero di un piccolo mulino per la frantumazione dei pigmenti dotato di un pestello rotante, ed anche di una «rotula plumbi parvula» sull'alberetto di un trapano. Nel secondo quarto del XIV secolo Giovanni Buridano a conferma della sua nuova teoria dell'impeto, osservava che la mola continua a girare anche molto tempo dopo che si è tolta la mano, volendo dimostrare così che la macina accumula energia o vis impressa. Si è già segnalato un volano applicato ad un meccanismo di grosse proporzioni intorno al 1430, nel taccuino di un anonimo ingegnere delle guerre ussite. L'entusiasmo degli ingegneri del Rinascimento per la combinazione volano-manovella fu tale che essi cercarono frequentemente di fonderli incurvando la sezione centrale o tratto di congiunzione delle manovelle in forma di semicerchio. Nel 1567 Giuseppe Ceredi sottolinea, nella prima analisi teorica della manovella che io abbia trovato, che si tratta di un accorgimento inutile, tuttavia manovelle ricurve continuarono ad essere diffuse fino al XIX secolo.

Verso la fine del XV secolo s'incontra in Europa un nuovo tipo di regolatore che, come il mulino a vento ad asse verticale e la turbina ad aria calda, fu probabilmente portato dal Tibet da schiavi dell'Asia centrale, che erano così numerosi nell'Italia di quel tempo. Come l'arma da fuoco portatile deriva dal cannone, e l'orologio da polso da quello da campanile, così la ruota delle preghiere portatile del Tibet era senza dubbio l'adattamento ad un uso individuale di uno strumento antico che veniva azionato da un gruppo. [Nota. La frequente affermazione che le

monete dei re dei Kushan, specialmente di Huvishka (130-160 d. C. circa), mostrino ruote delle preghiere azionate a mano è priva di fondamento. Il dr. John Rosenfield, della Harvard University, mi ha assicurato, sulla base di uno studio dello sviluppo della iconografia regia dei Kushan, che l'oggetto interpretato come ruota delle preghiere è un piccolo bastone, un emblema del potere. Fine nota.] Ma esso comportava una importante innovazione meccanica: un piccolo regolatore, costituito da una sfera legata ad una catena, attaccato all'esterno del cilindro per mantenerlo in rotazione. Intorno al 1480 troviamo in Germania una sfera di metallo collegata ad una manovella composta di una coppia, per controbilanciare la spinta di una biella sulla seconda manovella. Nel manoscritto di Francesco di Giorgio, del 1482-1501, vi è un regolatore a sfera e catena esattamente del tipo tibetano, accoppiato a manovelle composte e bielle; e nel 1507 troviamo uno spiedo, la cui rotazione veniva regolarizzata da tre pesi che ruotavano intorno ad un asse verticale.

L'interesse dei tecnici del XV secolo per il moto rotatorio continuo era così grande che il pendolo, l'elemento regolatore base del moto alternativo fu sottovalutato. Nell'ultimo decennio del secolo il genio di Leonardo ne intuì l'importanza, ma le sue possibilità di impiego per seghe, mantici e pompe non furono previste con chiarezza che nel 1569, con l'opera del Besson. [Nota. Per quanto F. M. Feldhaus sia probabilmente nel giusto nell'identificare nel disegno di Leonardo del Codice atlantico uno scappamento a pendolo per orologio, l'idea non ha avuto applicazioni nell'orologeria fino al 1650 circa. S. A. Bedini dimostra come il Treffler abbia anticipato l'Huygens nell'invenzione dell'orologio a pendolo. Un importante precursore dell'orologio a pendolo si trova nello scappamento a battito incrociato di Justus Burgi, morto a Kassel nel 1632. Fine nota.] Strettamente connessa con la manovella ed il volano è un'altra invenzione medioevale: il pedale. Non vi sono elementi per affermare che nell'antichità un qualche tipo di pedale fosse conosciuto, salvo che in Cina, dove era usato nei telai intorno alla metà del II secolo d. C. [Nota. E. Chavannes mostra un telaio con due pedali ben chiari. H. E. Winlock sostiene che in questa località del VII secolo, vicino Tebe vi sono tracce di telai a pedali, ma l'interpretazione dei documenti non è convincente. E. von Erhardt-

Siebold nega che vi siano documenti sull'uso di pedali, nel mondo greco o romano, per controllare i licci del telaio. Il telaio verticale «classico» con quattro pedali, progettato per tessere abiti senza cuciture, riprodotto da H. L. Rotri, *Studies in Primitive Looms*, Halifax 1934, da una fonte del XVII secolo, non è basato su alcun documento classico. Fine nota.] In Europa le prime testimonianze sul pedale s'incontrano nella descrizione di Alessandro Neckam della tecnica di tessitura, nell'ultimo scorcio del XII secolo, in reperti archeologici dell'inizio del XIII, ed in una raffigurazione inglese di un telaio della metà del XIII secolo. Nelle vetrate e nelle miniature del XIII secolo sono frequenti i telai a pedale, come anche i torni a pedale. E, tenuto conto di ciò, è strano che il pedale non sia stato impiegato, a quanto sembra, nell'organo a canne (la «macchina» più complessa di tutto il Medioevo), sotto forma di tastiera a pedale, prima del 1418 circa.

Connesse al pedale erano la molla costituita da un palo flessibile e da un archetto. Mentre la molla era nota ai greci ed ai romani negli archi, trappole e macchine militari, il solo esempio di una molla usata nell'età classica come elemento per il funzionamento continuo di una macchina ci viene dall'organo ad acqua, che aveva una molla di corno elastico o di metallo per far cessare la nota dopo che era stata abbassata la tavoletta scorrevole perforata per produrre il suono. [Nota. R. J. Forbes suggerisce che un passo di Polibio, *Storie*, possa riferirsi a un pestello sospeso ad una molla a palo flessibile. Più probabilmente il pestello era azionato da una puleggia. Fine nota.] La molla non compare nella progettazione di macchine prima del 1235 circa, quando nel taccuino di Villard de Honnecourt troviamo una molla costituita da un'asta flessibile che imprime la corsa ascendente ad una sega azionata da una ruota idraulica. Questo disegno, incidentalmente rappresenta la prima macchina motrice industriale automatica che comporti due moti: oltre alla conversione del moto circolare delle ruote nel moto alternativo della sega, vi è un movimento automatico di avanzamento che tiene il tronco accostato alla sega. Poco dopo il 1235 troviamo a Boppard, nella Renania, una molla sospesa, accoppiata ad un pedale, usata al posto di una puleggia per azionare i licci di un telaio, e nella vetrata dei carpentieri a Chartres (1215-40) si vede una sega verticale azionata a pedale e con molla sospesa. Intorno al 1250 molle aeree venivano

impiegate per azionare torni: anticamente il tornio veniva mosso da un archetto tenuto con la sinistra, la cui corda era avvolta intorno al mandrino del tornio; ora la corda passa dal pedale alla molla sospesa, lasciando libere ambedue le mani dell'artigiano. [Nota. Una miniatura del 1350 circa mostra una molla a palo flessibile applicata ad un mortaio per preparare polvere da sparo. Fine nota.] Questo meccanismo s'incontra ancora nel 1500, nella più antica macchina utensile rimastaci, il tornio preferito dell'imperatore Massimiliano, anche se, nel 1480-82 circa, Leonardo da Vinci aveva già disegnato un tornio a pedale, manovella composta, e volano, che aumentava notevolmente l'efficienza, sostituendo il movimento rotatorio continuo alla rotazione alternata connessa all'azione della molla e del pedale.

Ancora più importante nel progressivo perfezionamento della progettazione delle macchine, fu il filatoio. Questo strumento appare intorno al 1280 a Spira, in un regolamento che autorizza l'uso del filo di mulinello nella trama ma non nell'ordito dei tessuti, e nel 1288 ad Abbeville in una disposizione che ne vieta l'uso, probabilmente perché il filo non era sufficientemente resistente. [Nota. Le ruote raffigurate, in Delaporte, sulle vetrate di Chartres anteriori di poco al 1280, possono essere ruote da avvolgimento, meccanismi per avvolgere il filo sulle bobine per spole, dai quali ebbe probabilmente origine il filatoio. Fine nota.] Tipi diversi di filatoi vengono utilizzati per tutta l'Asia, e la sua origine è generalmente attribuita all'India. Fino ad ora, tuttavia, la sua comparsa in India ed in Cina non può essere datata.

Il filatoio è interessante dal punto di vista meccanico non solo perché è il primo esempio di trasmissione a cinghia ed un esempio, fra i più antichi, di applicazione del principio del volano, ma anche perché concentra l'attenzione sul problema della produzione e del controllo di velocità diverse delle parti mobili di una stessa macchina, che compiono movimenti differenti. Un solo giro della grande ruota, faceva girare più volte il fuso; ma, non contenti di ciò, intorno al 1480, gli artigiani avevano messo a punto un'aletta ad U, che ruotava attorno al fuso, e permetteva di compiere simultaneamente sia la filatura che l'avvolgimento del filo sulla bobina. Perché ciò fosse possibile era necessario che l'aletta ed il fuso ruotassero a velocità differenti, ciascuno azionato per suo conto con una propria cinghia dalla ruota

grande, che, naturalmente, girava ad una terza velocità. Finalmente, verso il 1524, manovella, biella e pedale furono applicati al filatoio.

Lo studio più importante sulle velocità differenziali fu tuttavia effettuato in relazione a quell'ingegnosa invenzione medioevale che fu l'orologio meccanico. Come si è già detto, gli ingegneri del XIII secolo furono attratti dal problema di creare un orologio azionato dalla forza di gravità. La difficoltà era quella di trovare uno scappamento, vale a dire un mezzo per ottenere un flusso costante di energia nel meccanismo. La storia della tecnologia non offriva precedenti per un tentativo di questo genere, fatta eccezione per il dispositivo ottenuto con un flusso d'acqua, che non era soddisfacente in un clima nel quale il gelo era frequente.

Già alla fine del XII secolo il mercato di orologi ad acqua era tanto rilevante che intorno al 1183 si menziona a Colonia una gilda di orologiai, ed intorno al 1220 essi occupavano, in quella città, una intera strada, la Urlogingasse. Un trattato francese inedito del XIII secolo ci dice come era fatto uno dei tipi semplici: una corda, con un galleggiante ad un'estremità ed un contrappeso dall'altra, passava intorno ad un albero che ruotava il quadrante ed azionava la soneria. [Nota. Dal momento che tutti questi strumenti erano mossi dal peso del galleggiante e del contrappeso, sono, strettamente parlando, azionati a peso. Ma, nella storia della cinematica applicata, è importante distinguere questo tipo di motore a gravità da quelli che richiedono uno scappamento meccanico. Per questo motivo le marionette del Tempio di Bacco, di Erone, azionate da un peso che poggia su un contenitore dal quale fuoriescono semi di miglio o di senape, invece dell'acqua, devono essere considerate come una piccola variante dei sistemi azionati ad acqua, e non come antenate del vero meccanismo a peso. Dal momento che il manoscritto è stato eseguito sotto il patronato della famiglia reale francese, e le illustrazioni miniate riproducono il sogno di re Ezechia, il suo orologio probabilmente non è monastico, ma è piuttosto ispirato da un orologio di corte di Parigi. Fine nota.] Tuttavia l'unica raffigurazione di un orologio occidentale ad acqua del XIII secolo che ci sia pervenuta, e che rappresenta probabilmente un orologio della corte reale di Parigi del 1250 circa, è abbastanza dettagliata per mostrare come quei meccanismi potessero essere molto complessi, sì da implicare anche ruote dentate.

Si tratta di un grande orologio da camera, progettato essenzialmente per suonare le ore, e privo quindi di quadrante. Esso è montato in una cassa analoga a quella disegnata nel 1235 da Villard de Honnecourt nel suo taccuino. La sua caratteristica essenziale è una ruota composta da quindici coni metallici. Dal momento che l'ora equalis corrispondeva a quindici gradi del ciclo equinoziale, l'arbitraria divisione di questa ruota in quindici sezioni indica probabilmente che essa compiva una rotazione completa ogni ora. I fori che si vedono fra questi coni possono essere rappresentazioni schematiche piuttosto che dettagli effettivi. Senza dubbio essi andavano da cono a cono piuttosto che attraverso la ruota. Questo avrebbe permesso all'acqua di passare lentamente da un cono all'altro, frenando così la rotazione dell'asse, che sembra essere azionato da un peso, pendente da una corda avvolta intorno all'asse stesso: un sistema analogo viene adottato in un orologio esistente alla corte di Alfonso X di Castiglia, non più tardi del 1277, nel quale viene usato il mercurio al posto dell'acqua. Dietro il tamburo, e montata o sullo stesso asse, o su di un altro collegato a questo, vi è una grande ruota dentata, che controlla il meccanismo per la soneria. Alla sinistra dell'orologio vi è una ruota a palette, che è probabilmente uno scappamento a ventola per rallentare, mediante attrito con l'aria, l'azione della soneria, al battere delle ore. [Nota. Una forma simile si trova nelle pale dello scappamento a ventola dell'orologio di Dover Castle. Fine nota.] Questo non è, senza dubbio, un orologio dappoco. Se l'interpretazione del meccanismo data sopra è corretta, ci troviamo di fronte, intorno al 1250, al primo esempio di sfruttamento della forza di gravità oltre al trabucco, e il secondo esempio è appunto l'orologio di Alfonso X, strettamente connesso al primo, e posteriore di un quarto di secolo. Sulla base almeno della documentazione disponibile, lo sfruttamento della forza di gravità sembra essere un'innovazione occidentale. Senza dubbio l'orologio della corte di san Luigi, come quello della corte di Castiglia, è stato costruito come copia più modesta dell'orologio astronomico che il sultano di Damasco presentò nel 1232 a Federico II di Hohenstaufen, e del quale l'imperatore andava straordinariamente fiero, «in quo ymagines solis et lune artificialiter mote cursum suum certis et debitis spaciis peragant et horas diei et noctis infallibiliter indicant». [Nota. La descrizione di Tritermio, citata

da J. Beckmann, è chiaramente fondata sulla Chronica di Colonia, con abbellimenti fantasiosi. Fine nota.] Ma non si è trovata indicazione che un meccanismo a pesi, in quanto distinto dai contrappesi che permettevano l'azione del galleggiante, si trovasse nell'orologio di Federico; né appare nel libro di Ridwan del 1203, che descrive le riparazioni ed il perfezionamento del monumentale orologio astronomico costruito a Damasco dal padre, alla fine del XII secolo. [Nota. H. Schmeller pubblica una catena di secchi saracena per sollevare l'acqua, la quale è azionata da due pesi di piombo, e che comporta ingranaggi. Tuttavia, dal momento che non vi è traccia di scappamento, è difficile immaginare come tale apparato avrebbe funzionato se i pesi ed il volume d'acqua sollevata non fossero stati esattamente bilanciati. Mentre questo meccanismo si trova in un gruppo di scritti tecnologici legati all'attività di Ridwan, non può essere tuttavia datato. Fine nota.] I tecnici europei non erano tuttavia soddisfatti dei progressi raggiunti con l'orologio ad acqua di san Luigi; essi desideravano un misuratore del tempo puramente meccanico. [Nota. C. Fremont trovò uno scappamento meccanico del 1235 circa, nel taccuino di Villard de Honnecourt, che mostra un meccanismo per tenere un dito di un angelo puntato verso il sole, e per girare la testa di un'aquila su un leggio. Che un meccanismo di questo tipo venisse poi perfezionato risulta dalla citazione di un angelo che girava, nella chiesa di San Paolo a Londra, nel 1344, e fino all'incendio del 1826 un angelo di questo tipo sormontava l'abside a Chartres. Ma questi meccanismi disegnati da Villard non potevano funzionare automaticamente, e possono esser portati a testimonianza delle sue ambizioni, piuttosto che delle realizzazioni nella utilizzazione della forza gravitazionale. Fine nota.] Fortunatamente, possediamo un trattato scritto da Roberto Anglico nel 1271, che mostra non solo i tentativi e gli insuccessi, ma anche la chiarezza con la quale essi immaginavano quello che stavano cercando di fare. Roberto dice che, anche se nessun orologio è astronomicamente accurato, «gli orologiai tentano tuttavia di realizzare una ruota, o un disco, che si muova esattamente come il circolo equinoziale, ma non riescono nel tentativo (sed non possunt omnino complere opus eorum). Se essi, tuttavia, vi riuscissero, avrebbero un orologio di maggior valore dell'astrolabio e di qualsiasi altro strumento astronomico per segnare le

ore». Ci descrive, quindi, i loro tentativi: si monta una ruota su un albero, in modo che l'equilibrio di rotazione sia perfetto, si attacca quindi un peso di piombo all'albero in modo che la ruota giri una volta sola fra l'alba ed il tramonto. Lo scappamento era però, nel 1271, ancora un problema insoluto.

La linea principale di sviluppo ci viene indicata non solo dall'importanza attribuita da Roberto all'astronomia, ma anche dal fatto che l'orologio a mercurio di Alfonso X aveva per quadrante un astrolabio. La maggior parte dei primi orologi non erano tanto strumenti per misurare il tempo, quanto rappresentazioni del cosmo. Fin dai tempi di Archimede erano stati costruiti modelli meccanici delle orbite planetarie, ed esiste una continuità fra quelli dell'antichità ed il planetario donato nel 1232 a Federico II. [Nota. Macchine siffatte furono presto conosciute in Cina, e raggiunsero il massimo sviluppo nel 1088 d. C. Fine nota.] Dal I secolo d. C. ci provengono frammenti di un meccanismo di questo tipo, che comporta un sistema d'ingranaggi molto complesso. Al tempo di Tolomeo un apparecchio del genere era stato collegato all'astrolabio, ed era diventato un sistema per misurare il tempo, Al-Biruni (m. 1048 d. C.) menziona una intricata macchina ad ingranaggi che mostrava le fasi della luna, mentre al-Battani (m. 929 d. C.) ci aveva già fornito il disegno di un complesso astrolabio ad ingranaggi. Ce ne rimane, infine, uno proveniente da Isfahan, del 1221-2.

Il fatto che gli astrolabi abbiano continuato ad essere in uso nell'Occidente latino durante l'alto Medioevo ci viene confermato dalla divisione di tutti gli astrolabi in due famiglie, una orientale musulmana, ed una occidentale, che comprende anche quelli della Spagna musulmana. Il tipo occidentale ha un cerchio zodiacale, ed è basato sul calendario giuliano, che non ha alcun rapporto con i mesi lunari dell'Islam. Inoltre la divisione delle ore nelle alidades della Spagna musulmana, mostra una derivazione o un'influenza cristiana. Senza dubbio i saraceni trovarono astrolabi in uso quando conquistarono, nell'VIII secolo, la Spagna visigotica, e non seguirono la tendenza dell'Islam orientale ad adattare lo strumento al calendario lunare.

Il più antico astrolabio latino che ci sia rimasto è di fattura inglese, ed è della fine del XII secolo. Intorno al 1300 venivano prodotti

in Francia astrolabi mirabilmente congegnati. Senza dubbio le origini dell'orologio meccanico devono essere ricercate nel complesso regno dei planetari monumentali, degli equatoria e degli astrolabi a ingranaggi. [Nota. E. Poulle mette in evidenza il grande interesse, ed il conseguente sviluppo, degli astrolabi verso la fine del XIII secolo quale preparazione dei notevoli progressi astronomici del XIV secolo. Fine nota.] Verso la fine del XIII secolo gli studiosi non solo teorizzavano, ma costruivano a volte con le proprie mani tali oggetti: nel 1274 il famoso Henri Bate di Malines si vanta di un astrolabio che «manu compievi propria». Il fatto che gli inventori lavorassero intorno al problema di uno scappamento meccanico è indicato chiaramente dalla comparsa quasi contemporanea di due soluzioni collegate fra di loro: la barretta oscillante, o verga (foliot), a nord delle Alpi, e la ruota oscillante, in Italia. Tuttavia probabilmente non sapremo mai con esattezza quando fu effettuata la scoperta. Proprio come le origini della moderna artiglieria risultano oscure per la somiglianza verbale e visiva con il cannone o tubo per lanciare il fuoco greco, così l'assimilazione dell'intero vocabolario dell'orologio ad acqua nel vocabolario dei successivi orologi meccanici, ed il fatto che alcuni grandi orologi ad acqua utilizzassero catene di ingranaggi hanno irrimediabilmente ridotto la nostra capacità di valutare i documenti di quel cruciale periodo che è l'inizio del XIV secolo. [Nota. Gli studiosi di Dante hanno erroneamente presunto che il poeta (m. 1321) si riferisca tre volte ad orologi meccanici, perché parla di ingranaggi di orologi. Usher, seguito da W. C. Watson, conclude che le prime apparizioni di orologi meccanici avvengono a Milano nel 1335, con molta probabilità a Modena nel 1343, a Padova nel 1344, ed a Monza nel 1347; ma in nessun caso si possono avere date certe. Il primo esempio fuori dell'Italia è probabilmente l'orologio di Strasburgo del 1352. Fine nota.] Orologi meccanici a pesi erano tuttavia ben noti intorno al 1341, quando una cronaca milanese ci dice che, in analogia con tali orologi, e dopo molti tentativi, i tecnici locali avevano costruito mulini a peso per la macinazione del grano.

Improvvisamente, verso la metà del XIV secolo, l'orologio meccanico conquistò l'immaginazione dei nostri antenati. Parte dell'orgoglio civico, che precedentemente si era manifestato nella

costruzione di cattedrali, viene ora diretto alla realizzazione di orologi astronomici di meravigliosa complessità ed elaborazione. Nessun cittadino, in Europa, si sarebbe sentito più tale, se sollevando il capo nella piazza della sua città, non avesse visto i pianeti rivolgersi in cicli ed ep cicli, mentre gli angeli davano fiato alle trombe, il gallo cantava e gli apostoli, i re, ed i profeti marciavano avanti e indietro al battere delle ore.

Non era solo per la loro diversità, per le dimensioni, per la vasta diffusione che questi automi erano differenti da quelli del periodo precedente. Per quanto molti facessero parte di chiese, non avevano quel carattere di pio inganno, presente nei congegni dei templi ellenistici. Anche se molti erano ornamento di municipi e di palazzi, non avevano gli intenti politici degli automi di Bisanzio, come ce li descrive nel X secolo Liutprando da Cremona, destinati ad ispirare il rispetto dell'imperatore. I nuovi grandi orologi astronomici venivano presentati francamente come meraviglie meccaniche, ed il pubblico li apprezzava come tali. [Nota. Almeno fin dal 1299 fu costruita una straordinaria «casa degli scherzi», piena di scherzi meccanici, specchi deformanti, e simili, a Hesdin, nell'Artois, e veniva ancora conservata dai duchi di Borgogna alla fine del XV secolo. Fine nota.] Questo basta di per sé ad indicare l'evoluzione dei valori della società europea.

Ma, oltre ad essere giganteschi giocattoli, tali orologi erano ben più che dei giocattoli: erano simboli connessi alle più profonde e spesso non esplicite tendenze dell'epoca. Fra il 1319 e il 1320 stava sorgendo una nuova teoria dell'impeto, che rappresenta il punto di passaggio fra quella di Aristotele ed il moto d'inerzia di Newton. [Nota. La nuova teoria fu formulata esplicitamente per la prima volta nelle lezioni parigine di Francesco della Marca nel 1319-20. Tuttavia nel *De ratione ponderis*, Jordanus de Nemore (m. 1237) anticipa la successiva teoria dell'impeto, probabilmente sulla base di osservazioni sul comportamento di oggetti grandi ed irregolari, come cavalli morti, lanciati dalla nuova artiglieria a contrappesi. Fine nota.] Secondo la vecchia concezione, nulla si muoveva se non era costantemente spinto da una forza esterna. In base alla nuova teoria fisica i corpi si mantengono in movimento in virtù della forza originariamente impressa su di essi, grazie alla vis impressa. Inoltre regolarità, relazioni

prevedibili matematicamente e fatti misurabili quantitativamente cominciavano ad avere una maggiore importanza nella visione umana dell'universo, ed il grande orologio, in parte perché la sua inesorabilità era giocosamente mascherata e il suo meccanismo era umanizzato da tutte quelle bizzarrie, dava corpo a questa immagine. [Nota. L'espressione *machina mundi* appare in Lucrezio, ma Arnobio di Sicca fa del sarcasmo su Lucrezio («*Rerum ipsa quae dicitur appellaturque natura*») e sul suo concetto meccanicistico: «*Numquid machinae huius et molis, quae universi tegimur et continemur inclusi, parte est in aliqua relaxata aut dissoluta constructio?*» Tuttavia Dionigi l'Areopagita, in un passo del quale non sono riuscito a rintracciare il contesto, dice, commentando la Crocifissione: «*Aut deus nature patitur, aut machina mundi dissolvetur.*» Nel *Tractatus de sphaera*, scritto probabilmente prima del 1220, Giovanni di Sacrobosco cita queste parole di Dionigi nell'ultimo periodo; esse fondono chiaramente la sua cosmologia con la sua fede, dal momento che *machina mundi* appare anche nel primo capitolo. Roberto Grossatesta nel *De sphaera*, scritto probabilmente poco prima del 1224, usa *machina mundi* tre volte nelle prime tredici righe. Un secolo più tardi G. Buridano, nelle *Quaestiones super Libris quatuor de caelo et mundo*, colpito dal fatto che una mola rotante, una volta in moto, viene fermata solo dall'attrito, suggerisce che forse non sono necessarie intelligenze angeliche per muovere le sfere celesti, che ruotano forse per un impeto iniziale: «*Posset enim dici quod quando deus creavit sphaeras coelestes, ipse incepit movere unamquamque earum sicut voluit; et tunc ab impetu quam dedit eis, moventur adhuc, quia ille impetus non corrumpitur nec diminuitur, cum non habent resistantiam.*» Era stata così aperta la strada all'immagine di Dio costruttore d'orologi di Nicola d'Oresme. Fine nota.] È nelle opere del grande ecclesiastico e matematico Nicola d'Oresme, morto nel 1382, vescovo di Lisieux, che troviamo per la prima volta la metafora dell'universo come un grande orologio meccanico, creato e posto in funzione da Dio in modo tale che «tutte le ruote si muovano il più armoniosamente possibile». Il concetto avrebbe avuto un futuro: la metafora sarebbe divenuta una metafisica.

Nel 1348 un valente medico ed astronomo, Giovanni de' Dondi, cominciò a costruire con le proprie mani un orologio che impiegò sedici

anni a completare. [Nota. Come ci dice, intorno al 1389, l'amico Philippe de Mézières. Fine nota.] Quando lo ebbe terminato, nel 1364, il Dondi scrisse un trattato che arricchì con numerosi disegni. Per quanto ci rimangano sei manoscritti questo monumento della storia delle macchine non è mai stato pubblicato. L'orologio del Dondi serviva solo incidentalmente a segnare il tempo: rappresentava il percorso celeste del sole, della luna, dei cinque pianeti, e forniva un calendario perpetuo di tutte le festività religiose, sia fisse che mobili. La sua capacità di collegare le parti in movimento mostrava del genio: per la riproduzione delle orbite ellittiche della Luna e di Mercurio (come richiesto dal sistema tolemaico), creò ingranaggi ellittici, e risolse analogamente le irregolarità allora osservate nell'orbita di Venere. [Nota. Poco dopo il 1500 Leonardo da Vinci sembra aver abbozzato l'ingranaggio per Venere di questo orologio. Fine nota.] Per complessità e raffinatezza gli ingranaggi del Dondi vanno molto al di là di tutto ciò che ci rimane della tecnica antica, inclusi i frammenti del planetario ellenistico trovato nel mar Egeo. Sul piano della progettazione delle macchine, il XIV secolo segna una tappa decisiva. E, in effetti, sembrerebbe che durante i due secoli successivi non si siano fatti grandi progressi nella progettazione di orologi a pesi, perché nel 1529, quando l'imperatore Carlo V visitò Pavia ed ammirò l'orologio di Giovanni, che era allora guasto, poté trovare un solo tecnico, Giovanni Torriani, capace di ripararlo.

Tuttavia negli anni immediatamente successivi a Giovanni de' Dondi, gli orologiai si avvicinavano a conquiste tecniche di altro genere. Nel 1377 Carlo V di Francia possedeva un orloge portative, che può essere stato semplicemente un orologio di tipo tradizionale in piccolo. Si è tuttavia visto come verso la metà del XIII secolo gli ingegneri si interessassero alle molle quali elementi di macchine automatiche, e dal tempo delle prime trappole a molla era stato compreso che le molle accumulano energia. Intorno al 1400 la molla a spirale piana compare nelle serrature, dalle quali fu trasferita nel congegno di sparo delle armi da fuoco nella seconda metà del XV secolo (e il termine inglese per «congegno di sparo», flint-lock, richiama l'origine da «serratura di porta», in inglese lock). Il primo esempio rimastoci di cronometro a molla è un magnifico esemplare di orologio da camera, costruito intorno

al 1430 per Filippo il Buono, duca di Borgogna. [Nota. L'autenticità di questo orologio è stata recentemente messa in dubbio da A. Leiter, che sostiene che la cassa è un reliquiario del 1400 circa, nel quale è stato posto intorno al 1550 un orologio. Ma sembra molto improbabile che in un rimaneggiamento successivo, presumibilmente protestante, del reliquiario si sarebbero lasciate le armi della Borgogna. Inoltre H. A. Lloyd mostra un orologio a molla del 1440-50 circa in un ritratto borgognone. Dal momento che il principio della conoide era conosciuto intorno al 1405, ed era certamente applicato ad orologi intorno al 1477, un orologio del 1430 circa non può essere rifiutato semplicemente perché ha una conoide. È egualmente avventato contestarne l'autenticità per le viti di metallo, perché tali viti appaiono intorno al 1405 nel Bellifortis del Kyeser, e si trovano nei lavori metallurgici di precisione intorno al 1480. Fine nota.] Anche coloro che sospettano che il meccanismo di questo orologio possa non essere originale, ammettono che le molle furono impiegate per azionare orologi intorno al 1440-50, quando un orologio di questo tipo appare in un dipinto portoghese. Inoltre nel 1459 il re di Francia acquistò un «demi orloge doré de fin or sans contrepoix». Infine, in una lettera del 19 luglio 1488, ora nell'archivio di Modena, appare una meraviglia: Ludovico Sforza ordina tre elaborati costumi per sé, per la moglie e per Galeazzo di San Severino, ciascuno dei quali deve essere ornato con un orologio pendente, e due dei tre dovranno poter suonare le ore. L'orologio ha raggiunto se non il polso, almeno il collo.

Ma il meccanismo a molla per piccoli orologi da camera e portatili presentava una nuova serie di problemi per quanto riguarda lo scappamento: ovviamente né la verga o barretta oscillante, né la ruota avrebbero funzionato bene dati i movimenti e le scosse che subisce un orologio portatile; ma egualmente importante era il fatto che, mentre un peso offre una forza costante per tutto il tempo, una molla perde energia man mano che si allenta. Era dunque necessario uno scappamento che compensasse esattamente questa graduale diminuzione di intensità della fonte di energia.

Il mondo degli «umanisti» non è abituato ad apprezzare i valori estetici dell'abilità tecnica. Non si può tuttavia contemplare la soluzione data a queste due difficoltà dai tecnici del XV secolo senza l'emozione

che dovrebbe essere suscitata da ogni grande conquista. L'intensità e l'ingegnosità degli sforzi compiuti è mostrata dal fatto che, ancora una volta, come nel caso degli scappamenti per orologi a pesi, furono trovate due soluzioni: l'arresto e la conoide.

Non s'incontrano sicure testimonianze dell'arresto anteriori ad un orologio del 1535 circa. [Nota. Intorno al 1530 l'utilizzazione di orologi a molla per accertarsi della posizione durante la navigazione era auspicata, se non praticata. Fine nota.] Ma, dal momento che si tratta di un dispositivo un po' meno soddisfacente della conoide, può forse precedere quest'ultima. L'arresto consiste di due parti: la prima è una camma a forma di chiocciola, montata su una ruota collegata all'asse della molla principale; la seconda è una lunga molla rigida ad arco, fissata strettamente ad una delle estremità e che esercita con l'altra un'azione frenante sulla parte più sporgente della camma, quando la molla principale è tesa, e sul diametro più stretto quando la molla si sta scaricando. La molla principale deve così superare l'attrito della molla dell'arresto, oltre ad azionare il meccanismo. Infine, quando l'orologio si scarica, una rotellina all'estremità libera della molla dell'arresto scivola nella dentellatura della camma ed in questa posizione la molla dell'arresto aiuta la molla principale, indebolita, a compiere il lavoro.

La conoide fu un'invenzione anche più eccezionale; come uno dei maggiori storici dell'orologeria ha detto: «forse nessun problema meccanico è stato mai risolto con tanta semplicità e perfezione». La conoide s'incontra nel più antico orologio a molla rimastoci, quello del 1430 circa, e dal 1477 ne abbiamo un disegno. La conoide compensa le variazioni di forza della molla principale per mezzo di un freno di budello, o di una sottile catena, che si avvolge gradualmente a spirale intorno ad un albero conico, e la forza del freno dipende dalla possibilità di leva consentita dal diametro del cono a un dato punto e a un dato momento. Per quanto si tratti di un accorgimento di grande eleganza meccanica, l'idea non nacque fra gli orologiai: significativo della interdipendenza di tutti gli aspetti della tecnologia è il fatto che essa sia stata derivata dall'ingegneria militare. Intorno al 1405 troviamo infatti nel Bellifortis del Kyeser un asse conico di questo tipo in un meccanismo per tendere una balestra pesante. Con humour tipicamente medioevale, tale aggeglio fu chiamato «la vergine», probabilmente per

il fatto che offriva minor resistenza quando l'arco era lento e maggiore quando era teso.

Verso la seconda metà del XV secolo l'Europa era dotata, non solo di fonti di energia ben più diversificate di quelle conosciute da qualunque civiltà precedente, ma anche di un arsenale di mezzi tecnici per impadronirsi, guidare ed utilizzare tali fonti, molto più vario ed efficiente di quello posseduto da qualunque popolo del passato, o conosciuto da una qualsiasi società contemporanea del vecchio e del nuovo mondo. [Nota. Nell'Europa del basso Medioevo vi erano poche prevenzioni nei confronti del progresso tecnologico, nonostante le riserve di sant'Agostino, *De civitate Dei*: «Il genio umano ha inventato e messo in opera molte e grandi arti... e l'industria umana ha fatto grandiosi e stupefacenti progressi, [tuttavia] ad ingiuria dell'uomo, quanti veleni, quante armi e macchine di distruzione sono state inventate!» È curioso che gli Indiani del Perù e del Messico, materialmente meno avanzati, anticiparono il concetto punitivo della tecnologia molto prima del *Frankenstein* di Mary Wollstonecraft Shelley (London 1818). La «rivolta dei manufatti» nella loro arte mostra armi e strumenti che combattono e sconfiggono creature umane. Fine nota.] L'espansione dell'Europa dal 1492 in poi si è basata in gran parte sull'alto consumo di energia, con la conseguente produttività, importanza economica e potenza militare. [Nota. Intorno al 1444 il Bessarione scrisse a Costantino Paleologo, despota della Morea, ed una delle maggiori speranze dei greci per una rivolta contro i turchi, invitandolo ad inviare giovani in Italia per imparare le arti pratiche. Egli non era impressionato solo dai tessuti occidentali, dai vetri, dalle armi progredite, dalle navi, e dalla metallurgia: parlava più in particolare dell'uso dell'energia idraulica per eliminare il lavoro manuale, per esempio per segare i tronchi e per azionare i mantici delle fornaci. Fine nota.] Ma l'energia meccanica è priva di significato se distinta dai meccanismi per imbrigliarla. A cominciare, probabilmente, dal mulino per la follatura sul Serchio, del 983, nell'XI e XII secolo si applicò l'eccentrico ad una grande varietà di operazioni. Il XIII secolo scoprì la molla ed il pedale; il XIV perfezionò gli ingranaggi a livelli d'incredibile complessità; il XV secolo, infine, facilitò notevolmente, sfruttando la manovella, la biella ed il volano, la conversione del moto

alternativo in moto rotatorio continuo. Tenuto conto del ritmo generalmente lento della storia umana, questa rivoluzione nella progettazione delle macchine avvenne con incredibile rapidità. Durante i quattro secoli che seguirono Leonardo, vale a dire fino a che l'energia elettrica non richiese nuove tecniche, si fu più impegnati a sviluppare e perfezionare i principi base scoperti nei quattro secoli anteriori a Leonardo, che nello scoprirne di nuovi.

Capitolo III

Il concetto di una tecnologia dell'energia.

I tecnici del basso Medioevo erano coscienti dell'importanza delle loro ricerche? Ovviamente esisteva un vigoroso e coraggioso sforzo di innovazione, ma era guidato da concetti più ampi? [Nota. Per esempio a Venezia nel 1322 un Teothonicus ingenierius si offrì di costruire un nuovo tipo di mulino per macinare il grano, e sottopose il progetto ad un esame del Gran Consiglio. Tale coscienza del mutamento portò all'inizio della moderna storiografia della tecnica con il *De originibus rerum*, di Guglielmo da Pastrengo, scritto intorno al 1350, e pubblicato a Venezia nel 1547. Fine nota.] Sintomo del nascere di una cosciente e diffusa passione per l'energia naturale e per le sue applicazioni per scopi umani è l'adozione entusiastica, nell'Europa del XIII secolo, di una idea che aveva avuto origine nell'India del XII secolo: il moto perpetuo. [Nota. Gli esperimenti con perpetua mobilia furono senza dubbio uno dei motivi del rapido aumento di interesse per l'attrito e per i metodi per ridurlo. Fine nota.] Intorno al 1150 il grande astronomo e matematico indiano Bhaskara scriveva nel *Siddhantasiromani*: «Fa' una ruota di legno leggero, e poni nella sua circonferenza delle canne vuote, con fori dello stesso diametro, disposti ad egual distanza l'uno dall'altro; e tutte con un angolo un po' divergente dalla normale; riempi quindi a metà le canne di mercurio: la ruota così preparata, se posta su di un asse fissato su due sostegni, ruoterà da sola.» E scrive anche: «Scava un solco nel cerchio di una ruota, coprendolo poi con foglie dell'albero di tala fissate con cera, riempi quindi il canale per metà di acqua e per metà di mercurio, finché l'acqua non comincia a traboccare, chiudi allora il foro lasciato aperto per riempire la ruota. La ruota comincerà a ruotare da sola, azionata dall'acqua.» In India l'idea del moto perpetuo era collegata, e forse era fondata, sul concetto indiano della natura ciclica ed autopertpetuantesi di tutte le cose. [Nota. L'ipotesi di J. Needham, L. Eang e D. J. Price, che il concetto di moto perpetuo possa aver avuto

origine da un'osservazione ingenua degli stupefacenti orologi ad acqua cinesi, il motore dei quali era nascosto, non può essere accettata per due motivi: in primo luogo non abbiamo alcuna prova che l'idea del moto perpetuo fosse conosciuta in Cina; in secondo luogo non vi è alcuna indicazione che informazioni su questi orologi avessero raggiunto l'India, nella quale in effetti è sorta l'idea del moto perpetuo. Fine nota.] Quasi immediatamente l'idea fu accolta dall'Islam, dove essa arricchì la tradizione degli automi. Un trattato arabo di data incerta, ma che nei manoscritti sembra però associato alle opere di Ridwan (circa 1200 d. C), contiene sei perpetua mobilia, tutti basati sulla forza di gravità. Uno di essi è identico alla ruota di mercurio con canne oblique, di Bhaskara, mentre altri due sono identici ai due meccanismi a moto perpetuo che appaiono, intorno al 1235, in Europa: le ruote di Villard de Honnecourt imperniate con martelletti e con tubi di mercurio. In un'opera latina anonima, databile alla fine del XVI secolo, s'incontra una macchina per il moto perpetuo molto somigliante alla seconda proposta di Bhaskara di una ruota il cui cerchio contiene mercurio. Inoltre un perpetuum mobile di canne incernierate radialmente, che s'incontra in un trattato arabo, riappare intorno al 1440 nel taccuino di Mariano di Jacopo Taccola. Anche se non vi sono prove che proprio queste opere arabe fossero conosciute nell'Europa latina, possiamo essere sicuri che verso il 1200 l'Islam servì da intermediario per trasmettere il concetto indiano di moto perpetuo all'Europa, proprio come, nello stesso periodo, trasmetteva i numerali ed il calcolo posizionale di origine indiana: il Liber abaci di Leonardo da Pisa apparve nel 1202.

Per gli indiani l'universo stesso era una macchina a moto perpetuo, e non trovavano quindi nulla di assurdo in un flusso spontaneo senza fine di energia. Bhaskara parla del sifone come se si trattasse di un sistema per il moto perpetuo, ed un suo imitatore europeo del XIV secolo insiste nell'affermare che la sua ruota di mercurio è in moto perpetuo, anche se quando effettuò l'esperimento ne riscaldò la parte inferiore, ed era assolutamente certo che essa girava perché il calore faceva salire il mercurio. Un mulino a vento su una collina con venti costanti, un mulino ad acqua su un fiume che non si secca mai erano, nel Medioevo, sistemi di moto perpetuo. Gli aspetti significativi dell'idea del moto perpetuo nell'Europa del basso Medioevo, in

contrasto con l'India e con l'Islam, sono l'intenso e diffuso interesse, il tentativo di diversificarne i motori, e quello di trovare delle applicazioni pratiche del moto perpetuo.

L'occidente del XIII secolo vedeva due forze, la gravità ed il magnetismo, che operavano con una costanza ben superiore a quella del vento e dell'acqua. Accanto ad un disegno di un perpetuum mobile basato sulla forza di gravità, Villard de Honnecourt pone una nota: «A lungo i maestri [maistres] hanno disputato su come costruire una ruota che giri da sola. Ecco come può essere fatta: o con martelli diseguali o con l'argento vivo».

Il problema era quello di riuscire a controllare anche il magnetismo. Dati del 1040-4, del 1089-93 e del 1116 parlano di un ago magnetizzato impiegato in Cina in pratiche geomantiche, mentre nel 1119 e nel 1122 i cinesi lo utilizzavano per la navigazione. In Europa la bussola (o compasso) appare nel *De naturis rerum* di Alexander Neckham, [Nota. W. E. May mette in rilievo che Neckham non parla di una bussola con perno. Il May assicura che nessuno ha individuato la fonte originale della frase, relativa alla bussola, e del 1204 circa, attribuita, nel XVII secolo, ad Hugues. La pretesa lettera di Brunetto Latini, nella quale il Latini racconta che Ruggero Bacone gli avrebbe mostrato una bussola, è un falso del 1802. Fine nota.] che ebbe ampia diffusione verso la fine del XII secolo, e nella *Bible* di Guiot de Provins, composta fra il 1203 ed il 1208. Intorno al 1218 Jacques de Vitry considerava la bussola «valde necessarius... navigantibus in mari». [Nota. L'affermazione frequente che Jacques dica che la bussola proviene dall'India, è inesatta: egli dice solamente che il magnete è di origine indiana. Fine nota.] Intorno al 1225 era di uso comune anche in Islanda. [Nota. Una glossa del 1225 circa alla *Historia islandica*, scritta intorno al 1108, che parla di un episodio dell'868, dice che i marinai di quel tempo non avevano la bussola. Fine nota.] Essa non raggiunse tuttavia l'Occidente tramite l'Islam, ma per via di terra, originariamente come strumento per la determinazione del meridiano. Il primo riferimento musulmano alla bussola ci viene da un racconto persiano del 1232-3. La più antica menzione araba, in uno scritto del. 1282, ma che si riferisce esplicitamente ad un episodio del 1242-43, ne parla come di una novità. [Nota. Intorno al 1282 l'autore aveva tuttavia appreso che

nell'oceano Indiano si usava una bussola consistente di un sottile disco oscillante di ferro magnetizzato, che è anche la forma menzionata dalla fonte persiana del 1232-3. Dal momento che, secondo Li, questa è la prima forma di bussola cinese, sembrerebbe che l'Islam abbia ricevuto la bussola simultaneamente sia da est che da ovest. Fine nota.] Inoltre la parola araba, al-qonbas mostra come essa abbia raggiunto il Levante musulmano da Occidente, probabilmente dall'Italia. Subito dopo la sua introduzione in Europa la bussola cominciò a stimolare la mente degli scienziati ad indagare sulla forza magnetica. Nel *De universo creaturarum*, scritto nel 1231-6, il grande vescovo di Parigi, Guglielmo d'Alvernia, usò l'analogia dell'induzione magnetica per spiegare il moto delle sfere celesti. Nel 1269, nella sua fondamentale *Epistola de magnete*, che è il punto di partenza di tutte le opere successive sul magnetismo, l'ingegnere militare Pierre de Maricourt, che Ruggero Bacone considerò il più grande scienziato della sua epoca, presenta un disegno per una macchina magnetica a moto perpetuo, ed incidentalmente conferma la testimonianza di Villard del grande interesse per queste ricerche aggiungendo: «Ho visto molti uomini sfiancarsi nei ripetuti sforzi per inventare una ruota siffatta.» [Nota. Nell'*Opus tertium*, Bacone dice di Pietro: «Provava vergogna se una persona ordinaria, od una vecchia, o un soldato, od un villano sapevano qualche cosa che egli non sapesse. Investigò così i metodi dei fonditori, quel che essi fanno con l'oro, con l'argento, con gli altri metalli e con tutti i minerali; imparò tutto sul combattere, sulle armi e sulla caccia; esaminò tutto quello che è connesso con l'agricoltura, l'agrimensura, e con il lavoro dei contadini; studiò quel che fanno (*experimenta*) le vecchie streghe, i loro sortilegi e gli incantesimi, e insomma ogni cosa sugli stregoni, come pure gli illusionismi ed i trucchi dei giocolieri, in modo che non gli sfuggisse nulla di ciò che bisogna sapere, ed in modo di essere in grado di smascherare tutte le frodi e le magie.» Fine nota.] Questi sono i presupposti dei progetti del XIV secolo per mulini azionati dalla forza magnetica.

Ma intorno al 1260 Pierre stava già meditando un secondo *perpetuum mobile*, doppiamente significativo perché, a differenza della ruota magnetica, era progettato per un impiego pratico. [Nota. Bacone, *De secretis operibus*, dice che «*experimentator tamen fidelis et*

magnificus ad hoc anhelat, ut ea [sphaera armillaris] tali materia fieret, et tanto artificio, quod naturaliter coelum motu diurno volveretur». A. G. Little suggerisce per la composizione del *De secretis operibus* la data del 1248 circa, ma senza sufficiente fondamento. S. C. Easton propone, più cautamente, la data del 1260. Fine nota.] Che i suoi esperimenti fossero generalmente noti a Parigi è dimostrato dal fatto che verso il 1260 Giovanni di Saint-Amand identifica le proprietà del magnete con quelle della Terra stessa: «Dico quod in adamante est vestigium orbis.» [Nota. L'opera di Giovanni fu stampata a Venezia nel 1508. Fine nota.] Nel 1269 Pierre de Maricourt descrive il suo nuovo meccanismo: una sfera magnetizzata che, se montata senza attrito parallela all'asse celeste, avrebbe ruotato una volta al giorno. Se fosse stata accuratamente incisa con una carta del cielo, essa sarebbe servita da sfera armillare automatica per le osservazioni astronomiche e da orologio perfetto, rendendo inutili tutti gli altri orologi. [Nota. La sfera magnetica rotante di Pietro avrebbe avuto un grande destino. Il cardinale Nicolò Cusano (m. 1464) la conosceva solo tramite gli scritti di Ruggero Bacone. Tuttavia, a giudicare dal numero dei manoscritti rimastici, l'Epistola continuò ad essere letta ampiamente, ed anche prima che il trattato di Pietro fosse stampato a Roma, prima del 1520, sotto il titolo di *De virtute magnetis*, ed attribuito falsamente a Raimondo Lullo, il domenicano (e più tardi calvinista) Amedeus Meygret scrive con grande eccitazione sulla sfera rotante di Pietro: «Si magnes fiat spherice figure, et ponatur in medio axis, et situetur secundum situm celi, pars videlicet que est septemtrionalis versus polum articum, et meridionalis versus antarticum: non enim est eiusdem dispositionis in omnibus partibus: immo experimento probatur quod quemadmodum polus articus est oppositus antartico, ita etiam in magnete. Si enim acus fricetur ab ea parte que subiacet septemtrioni, et appropietur parti opposite non attrahet eam, sed repellet et e converso, si acus fricetur a parte que subiacet meridiei. Talis inquam magnes circulariter moveretur, et non per ascensum et descensum, quia tunc talis motus esset violentus; motus autem magnetis, si magnes imperpetuum duraret esset perpetuus, ergo non esset violentus. Forte ad hoc quis negaret quod moveretur, sed hoc esset subterfugere: immo est quidam tractatus de compositione talis magnetis; ideo concedatur ille motus. Et si dicas quod erit perpetuus si

duraret magnes in tali dispositione, concedatur et nego consequentiam, quia illa perpetuitas proveniret ex eo quod virtus movens semper applicaretur unde si virtus motiva figuli semper applicaretur rote, rota semper moveretur. Similiter si duo homines perpetuo percuterent pilam, ipsa semper moveretur. Et quia tunc a sola virtute celesti movetur et ipsa est perpetua perpetuo applicata, non est inconveniens quod perpetuo duret.» Probabilmente nella sua edizione dell'opera di Alchabitius, Antonio de Fantis descrive la sfera magnetica rotante, e questa è a sua volta citata da G. Cardano nel *De rerum varietate*, del 1557. Nel 1558 apparve ad Augsburg una seconda edizione dell'opera di Pietro intitolata *De magnete seu rota perpetui motus*, a cura di A. P. Gasser. Quattro anni più tardi J. Taisnier, *Opusculum perpetua memoria dignissimum, de natura magnetis et eius effectibus*, Colonia 1562, non solo descriveva tale sfera armillare automatica, ma ne forniva anche un disegno; ed egli ne andava così fiero che ne pose in rilievo una immagine sotto il proprio ritratto all'inizio dell'opera. Anche G. B. della Porta, *Magia Naturalis*, Napoli 1589, discute del movimento automatico della sfera magnetica. L'idea era dunque divenuta di pubblico dominio. Nel *De magnete*, London 1600, William Gilbert dipende da Pietro di Maricourt più che da qualunque altro autore. Per quanto Gilbert rifiutasse l'idea di macchine a moto perpetuo, e dubitasse che la sfera magnetica potesse realmente ruotare, tuttavia Zilsel è nel giusto nel ritenere che Gilbert «avrebbe accettato l'affermazione di Pietro di Maricourt che una sfera magnetica avrebbe ruotato in continuazione da sola», perché da questa egli aveva concepito per analogia l'idea che la terra stessa è un grande magnete che si muove perché tale. Per quanto l'ipotesi del Gilbert di una rotazione magnetica diurna del globo terrestre non avrebbe potuto essere dimostrata, la precedente diffusione dell'idea della terrella rotante di Pietro di Maricourt fece sembrare l'idea così plausibile che, anche con prove inadeguate, essa distrusse rapidamente una delle maggiori obiezioni al sistema copernicano. Fine nota.]

Verso la fine del XIII secolo, quindi, un gruppo considerevole di menti aperte, stimolato, non solo dal successo tecnologico delle recenti generazioni, ma sospinto anche dal mito inafferrabile del moto perpetuo, cominciò a diffondere il concetto di energia meccanica. Si

cominciò a pensare all'universo come ad una vasta riserva di energie, da afferrare ed impiegare per scopi umani. Il loro concetto di energia aveva molto di fantastico, ma senza tale fantasia ed immaginazione la tecnologia dell'energia dell'Occidente non si sarebbe sviluppata. Quando Ruggero Bacon, l'amico di Pierre de Maricourt, scriveva intorno al 1260: «Si possono costruire macchine per mezzo delle quali le più grandi navi, guidate da un solo uomo, potranno procedere più velocemente che se fossero cariche di rematori; si possono costruire carri che si muoveranno ad incredibile velocità, e senza essere tirati da animali; si possono costruire macchine volanti nelle quali un uomo... potrà battere l'aria con le ali, come un uccello... macchine permetteranno di scendere nel fondo dei mari e dei fiumi», non parlava per sé solo, ma a nome degli ingegneri del suo tempo.